



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CHASIS TUBULAR DEL
VEHÍCULO HÍBRIDO TIPO BUGGY 4 X 4 PARA LA CARRERA
DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”**

MORA SINCHE GEOVANNY ALFONSO

SUCONOTA LEÓN KLEBER FABIAN

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROPUESTAS TECNOLÓGICAS

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

RIOBAMBA – ECUADOR

2017

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

2016-12-05

Yo recomiendo que el trabajo de titulación preparado por:

GEOVANNY ALFONSO MORA SINCHE

Titulado:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CHASIS TUBULAR DEL VEHÍCULO
HÍBRIDO TIPO BUGGY 4 X 4 PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA
AUTOMOTRIZ”**

Sea aceptada como total complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano
DIRECTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

Ing. Ligia Elena Moreno Pinduisaca
ASESOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

2016-12-05

Yo recomiendo que el trabajo de titulación preparado por:

KLEBER FABIAN SUCONOTA LEÓN

Titulado:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CHASIS TUBULAR DEL VEHÍCULO
HÍBRIDO TIPO BUGGY 4 X 4 PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA
AUTOMOTRIZ”**

Sea aceptada como total complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano
DIRECTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

Ing. Ligia Elena Moreno Pinduisaca
ASESOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: MORA SINCHE GEOVANNY ALFONSO

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CHASIS TUBULAR DEL VEHÍCULO HÍBRIDO TIPO BUGGY 4 X 4 PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”

Fecha de Examinación: 2017-12-14

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano DIRECTOR			
Ing. Ligia Elena Moreno Pinduisaca ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: SUCONOTA LEÓN KLEBER FABIAN

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CHASIS TUBULAR DEL VEHÍCULO HÍBRIDO TIPO BUGGY 4 X 4 PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”

Fecha de Examinación: 2017-12-14

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano DIRECTOR			
Ing. Ligia Elena Moreno Pinduisaca ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de titulación denominado **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CHASIS TUBULAR DEL VEHÍCULO HÍBRIDO TIPO BUGGY 4 X 4 PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”** que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Mora Sinche Geovanny Alfonso

Cédula de Identidad: 060435390-4

Suconota León Kleber Fabián

Cédula de Identidad: 172138712-2

DECLARACION DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Geovanny Alfonso Mora Sinche y Kleber Fabián Suconota León, declaramos bajo juramento que el presente trabajo es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos usados en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados. Por lo tanto nos responsabilizamos en su totalidad del contenido a cualquier disposición legal en caso de no cumplir con este precepto.

Mora Sinche Geovanny Alfonso

Cédula de Identidad: 060435390-4

Suconota León Kleber Fabián

Cédula de Identidad: 172138712-2

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación dedico a mis queridos y amados padres, Alfonso Mora y María Sinche por todo el esfuerzo y sacrificio que hicieron durante mi formación académica. Me han dado todo lo que soy como persona, mis principios, mis valores, mi carácter, mi empeño, mi coraje para alcanzar mi objetivo de ser profesional, aun en los momentos duros siempre estuvieron ahí apoyándome moralmente y económicamente.

A mí novia, Gloria Shigla por que en todo momento fue un apoyo incondicional, la persona que estaba a mi lado pendiente para lograr mi sueño.

Mora Sinche Geovanny Alfonso

El presente trabajo de titulación les dedico a mis padres Segundo Suconota y María León por su inmenso esfuerzo, sacrificio enseñándome a crecer y a superar las adversidades, a pesar de momentos difíciles nunca se rindieron siendo un pilar fundamental en mi vida y a Dios por darme la sabiduría e inteligencia, a mis hermanos Geovanny, Iván y Ruth por su apoyo incondicional.

A mi novia Erika Barahona por ser esa persona que ante los momentos más difíciles siempre estuvo a mi lado dándome la fortaleza necesaria para sobresalir, compartiendo alegrías, tristezas, triunfos y fracasos gracias mi amor por ese inmenso sacrificio.

Suconota León Kleber Fabián

AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradezco a Dios, por ayudarme a terminar este trabajo, por darme la fuerza y el coraje para hacer este sueño realidad, por ponerme en este loco mundo, y por estar en cada momento de mi vida.

Agradezco también la confianza y el apoyo brindado por parte de mis padres y mi familia, que sin duda alguna en el trayecto han demostrado su amor y abnegación para culminar esta etapa de mi vida.

A mis Pastores Jaime y Jenny Ríos, gracias por haberme aceptado como su hijo y porque son un ejemplo de perseverancia y de que con Dios todas las cosas son posibles, gracias por ser unos verdaderos padres espirituales, gracias por compartir su tiempo en mi crecimiento, los quiero valorar y disfrutar todo el tiempo que los tenga.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Automotriz, por brindarme la oportunidad de obtener esta profesión. A mis tutores el Ing. Luis Buenaño y la Ing. Ligia Pinduisaca, gracias por compartir sus conocimientos para finalizar este trabajo de titulación, gracias totales.

Mora Sinche Geovanny Alfonso

Primero doy gracias a Dios por darme la sabiduría necesaria y a mis padres por ese inmenso sacrificio.

Agradezco a la Escuela de Ingeniería Automotriz, por darme la oportunidad de pertenecer a esta prestigiosa escuela obteniendo así mi profesión de ingeniero automotriz.

Mis más sinceros agradecimientos a mis tutores Ing. Luis Buenaño y Ligia Moreno por compartir sus conocimientos concluyendo así este trabajo de titulación.

Suconota León Kleber Fabián

1. MARCO REFERENCIAL

1.1.	Antecedentes.....	2
1.2.	Justificación	3
1.3.	Objetivos.....	4
1.3.1.	<i>Objetivo general</i>	4
1.3.2.	Objetivo específicos:	4

2. MARCO TEÓRICO

2.1.	Historia del buggy	5
2.2.	Buggy.....	6
2.3.	Marcas de buggy.....	6
2.3.1.	<i>Jpm</i>	7
2.3.2.	<i>Polaris</i>	7
2.3.3.	<i>Kawasaki y Yamaha</i>	8
2.4.	Clasificación	8
2.4.1.	<i>Monoplaza</i>	8
2.4.2.	<i>Biplaza</i>	9
2.4.3.	<i>Anfibio</i>	10
2.4.4.	<i>Car Cross</i>	10
2.5.	Vehículo buggy híbrido eléctrico	11
2.5.1.	<i>Híbrido Eléctrico XV-1</i>	11
2.5.2.	<i>Híbrido eléctrico citroën</i>	12
2.5.3.	<i>Híbrido evi sri electric</i>	13
2.6.	Chasis.....	13
2.6.1.	<i>Tipos de chasis</i>	14
2.6.1.1.	<i>Chasis tipo escalera</i>	14
2.6.1.2.	<i>Chasis tipo columna vertebral</i>	15
2.6.1.3.	<i>Chasis tipo tubular</i>	15
2.6.1.4.	<i>Chasis tipo monocasco</i>	16
2.7.	Industria Automotriz.....	16
2.8.	Materiales	17

2.8.1.	Tipos de materiales	17
2.8.2.	Acero estructural.....	19
2.8.3.	<i>Propiedades del acero</i>	19
2.9.	Tubo circular.....	21
2.9.1.	<i>Doblado de tubos</i>	22
2.9.2.	<i>Principio del curvado</i>	23
2.10.	Soldadura	233
2.11.	Teoría de diseño.....	244
2.11.1.	<i>Concepto de diseño</i>	244
2.11.2.	<i>Factor de diseño</i>	277
2.12.	Tracción y Flexión.....	288
2.12.1.	<i>Tracción</i>	288
2.12.2.	<i>Flexión</i>	288
2.13.	Modelo descriptivo de diseño	29
2.13.1.	Fases de diseño	29
2.13.2.	<i>Consideraciones técnicas</i>	300
2.14.	Software CAD-CAM-CAE.....	311
2.14.1.	CAD / Diseño asistido por computadora.	311
2.14.2.	CAM / Manufactura asistido por computadora.	311
2.14.3.	CAE / Ingeniería asistida por computadora.....	322

3. DISEÑO DEL CHASIS

3.1.	Características del modelo a seleccionar	333
3.1.1.	<i>Perfiles a seleccionar</i>	333
3.1.2.	<i>Materiales a seleccionar</i>	344
3.1.3.	<i>Dimensiones generales de un buggy</i>	39
3.1.4.	<i>Distribución general de las cargas</i>	39
3.2.	Etapas de diseño y dimensiones de la estructura	400
3.2.1.	<i>Determinación del centro de gravedad</i>	400
3.2.2.	<i>Distribución de pesos en posición horizontal</i>	411
3.2.3.	<i>Posición longitudinal de la gravedad</i>	422
3.2.4.	<i>Altura del centro de gravedad</i>	422
3.2.5.	<i>Relación peso potencia</i>	433

3.3.	Determinación de cargas verticales de diseño	433
3.4.	Selección de tubos de los travesaños	488
3.5.	Selección de tubos de arco de seguridad antivuelco.....	500
3.5.1.	<i>Diseño de arco principal</i>	500
3.6.	Momentos en los puntos principales del arco.....	522
3.7.	Dimensiones de la estructura en CAD.....	566
3.7.1.	<i>Croquis en plano 2D</i>	566
3.7.2.	<i>Croquis en planos 3D</i>	566
3.7.3.	<i>Determinación de miembros estructurales</i>	577
3.8.	Estructura del chasis	57
3.9.	Simulación ANSYS	58
3.9.1.	<i>Análisis estático</i>	58
3.9.2.	<i>Análisis de la estructura y base del motor</i>	58
3.9.3.	<i>Análisis axial</i>	611
3.9.4.	<i>Factor de seguridad</i>	622
3.9.5.	<i>Análisis dinámico</i>	633
3.9.6.	<i>Análisis de impacto a 60km/h</i>	633
3.9.7.	<i>Análisis de impacto a 80 km/h</i>	644
3.9.8.	<i>Análisis de vuelco</i>	655
3.9.9.	<i>Análisis de vibraciones</i>	68

4. CONSTRUCCIÓN DEL CHASIS

4.1.	Pruebas del material.....	711
4.2.	Ensayo de flexión	711
4.2.1.	Análisis de resultados	722
4.3.	Ensayo de tensión de resistencia a la tracción	744
4.3.1.	Análisis de resultados	755
4.4.	Construcción del chasis	77
4.5.	Soldadura del chasis	811
4.5.1.	Material de soldar electrodo	822
4.6.	Tratamiento superficial de la estructura	822

5. PRESUPUESTO

5.1.	Costos Directos.....	844
5.2.	Costos indirectos.....	866
5.3.	Costo total.....	866

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1.	Conclusiones.....	87
6.2.	Recomendaciones	88

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1–2: Propiedades mecánicas de aceros reconocidos por el AISI.....	20
Tabla 2-2: Propiedades de aceros estructurales A 500 grado B	20
Tabla 3-2: Tamaño nominal de tubos redondos	21
Tabla 1-3: Nomenclatura aceros.....	35
Tabla 2-3: Alternativa de selección.....	36
Tabla 3-3: Criterios de alternativa.....	36
Tabla 4-3: Propiedades mecánicas de ASTM A500.....	37
Tabla 5-3: Propiedades mecánica del aluminio.....	37
Tabla 6-3: Nivel de aprobación.....	37
Tabla 7-3: Criterios de valorización.....	37
Tabla 8-3: Propiedades mecánicas del acero.....	38
Tabla 9-3: Dimensiones del buggy.....	39
Tabla 10-3: Peso aproximado de elementos del buggy.....	39
Tabla 11-3: Peso aproximado del vehículo en marcha.....	40
Tabla 12-3: Carga total del chasis.....	40
Tabla 13-3: Valores del centro de gravedad.....	42
Tabla 14-3: Valores de los puntos del arco.....	53
Tabla 15-3: Valores de cargas de impacto.....	54
Tabla 16-3: Valores de resultados.....	62
Tabla 17-3: Comparación de la formación.....	65
Tabla 18-3: Comparación del factor de seguridad.....	65
Tabla 19-3: Deformación total del análisis de vuelco.....	68
Tabla 20-3: Factor de seguridad total de vuelco.....	68
Tabla 21-3: Resultado total del análisis de vibraciones.....	70
Tabla 1-4: Datos del ensayo de resistencia a flexión.....	73
Tabla 2-4: Datos del ensayo a la tracción.....	76
Tabla 3-4: Muestras tomadas en el ensayo.....	77
Tabla 1-5: Costos directos.....	85

Tabla 2-5: Costos indirectos..... 86

Tabla 3-5: Costo total..... 86

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-2: Buggy de los años 50.....	5
Figura 2-2: Buggy estructural tubular biplaza.....	6
Figura 3-2: Buggy JPM	7
Figura 4-2: Buggy marca Polaris motor 900	7
Figura 5-2: Buggy Yamaha	8
Figura 6-2: Vehículo tipo buggy monoplaza.....	9
Figura 7-2: Vehículo tipo buggy biplaza.....	9
Figura 8-2: Vehículo buggy tipo anfibio	10
Figura 9-2: Vehículo de competencia Car -Cross	11
Figura 10-2: Vehículo Híbrido eléctrico XV-1	12
Figura 11-2: Vehículo Híbrido eléctrico Citroën	12
Figura 12-2: Vehículo Híbrido ELVI SRI Electric	13
Figura 13-2: Bastidor de un chasis	14
Figura 14-2: Chasis tipo escalera	15
Figura 15-2: Chasis de columna vertebral.....	15
Figura 16-2: Chasis de estructura tubular.....	16
Figura 17-2: Chasis monocasco.....	16
Figura 18-2: Tubo de sección circular	21
Figura 19-2: Operación de doblado de tubos	22
Figura 20-2: Dobladora de tubos por empuje hidráulico.....	233
Figura 21-2: Unión de tubo circular	24
Figura 22-2: Elemento sometido a tracción.....	288
Figura 23-2: Elemento sometido a flexión	29
Figura 24-2: Modelo descriptivo lineal del diseño	29
Figura 25-2: Software Solidworks.....	311
Figura 26-2: Vehículo con simulación aerodinámico	322
Figura 1-3: Perfil Tubular.....	344
Figura 2-3: Alternativas de selección	366
Figura 3-3: Acero ASTM 500	388
Figura 4-3: Esquema del centro de gravedad de la estructura.....	400
Figura 5-3: Ubicación del centro de gravedad	433

Figura 6-3: Elementos principales de la estructura	455
Figura 7-3: Diagrama de cuerpo libre	466
Figura 8-3: Diagrama de fuerzas cortantes.....	466
Figura 9-3: Diagrama de Momento	466
Figura 10-3: Diagrama de cuerpo libre	48
Figura 11-3: Diagrama de fuerzas cortantes.....	49
Figura 12-3: Diagrama de Momento (KN-m) Travesaños	49
Figura 13-3: Dimensiones del arco principal.	511
Figura 14-3: Croquis en 2D.....	566
Figura 15-3: Croquis en 3D.....	577
Figura 16-3: Estructura tubular en 3D.....	57
Figura 17-3: Mallado de la estructura tubular del buggy	58
Figura 18-3: Fuerza al centro de gravedad	59
Figura 19-3: Fuerza en la base de motores eléctricos.....	59
Figura 20-3: Fuerza en la base del MCI	600
Figura 21-3: Fuerza en la base del asiento derecho	600
Figura 22-3: Fuerza en la base del asiento izquierdo	600
Figura 23-3: Deformación con fuerzas verticales	611
Figura 24-3: Fuerzas distribuidas en el chasis	611
Figura 25-3: Fuerzas distribuidas aplicadas a la estructura	622
Figura 26-3: Factor de seguridad axial.....	622
Figura 27-3: Carga de impacto a 500 kg	633
Figura 28-3: Deformación frontal del chasis.....	633
Figura 29-3: Factor de seguridad dinámico	644
Figura 30-3: Fuerza de impacto a 1000 kg	644
Figura 31-3: Deformación máxima del chasis.....	644
Figura 32-3: Factor de seguridad de impacto	655
Figura 33-3: Carga frontal de vuelco.....	666
Figura 34-3: Carga lateral de vuelco	66
Figura 35-3: Carga en la barra antivuelco	67
Figura 36-3: Carga posterior de vuelco	67
Figura 37-3: Deformación de vuelco del chasis	67
Figura 38-3: Factor de seguridad del vuelco	68
Figura 39-3: Análisis de vibraciones del chasis	69

Figura 40-3: Esfuerzo máximo en vibraciones.....	69
Figura 41-3: Esfuerzo máximo en vibraciones.....	69
Figura 1-4: Maquina universal calibrada	722
Figura 2-4: Probetas ensayadas a flexión	722
Figura 3-4: Curva esfuerzo deformación de flexión.....	733
Figura 4-4: Especificación de la probeta de ensayo	744
Figura 5-4: Dimensiones de probetas de ensayo	755
Figura 6-4: Probetas a ser ensayado	755
Figura 7-4: Curva esfuerzo deformación de tracción	766
Figura 8-4: Doble de tubos	78
Figura 9-4: Base del chasis.....	78
Figura 10-4: Construcción de la cabina y antivuelco	79
Figura 11-4: Construcción parte posterior	79
Figura 12-4: Armada la estructura.....	800
Figura 13-4: Unión de la plancha de tol con la base del chasis.....	800
Figura 14-4: La estructura con la plancha de tol	800
Figura 15-4: La máquina soldadora	811
Figura 16-4: Unión de tubos mediante la suelda	811
Figura 17-4: La base sometido a fondo de pintura	822
Figura 18-4: El chasis en la fase de pintura.....	833
Figura 19-4: La fase final de pintura	833

LISTA DE ABREVIACIONES

CINAE	Cámara de la Industria Automotriz Ecuatoriana
AEA	Asociación Ecuatoriana Automotriz
CAD	Diseño asistido por computadora
CAM	Manufactura asistido por computadora
CAE	Ingeniería asistida por computadora
ASTM	Sociedad americana de pruebas y materiales
INEN	Instituto ecuatoriano de normalización
RFDA	Normativa de homologación de estructuras de seguridad
SMAW	Soldadura por arco con electrodo recubierto
ASME	Sociedad americana de ingenieros mecánicos
AWS	Sociedad americana de soldadura

LISTA DE ANEXOS

- A.** Catálogo DIPAC productos de acero
- B.** Normas básicas de barras antivuelco

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de titulación es diseñar y construir el chasis tubular del vehículo híbrido tipo buggy 4x4 para lo cual se aplica la siguiente metodología: Analizar y recopilar información basándose en las normas que rigen este tipo de estructuras ya sea en selección de materiales y parámetros de construcción como dimensiones, espacio y seguridad. Diseñar el chasis por medio de software CAD Y CAE, Construir el chasis mediante la selección adecuada de materiales; el modelado CAD se realizó en Solidworks y la simulación del comportamiento del chasis ante los esfuerzos estáticos y dinámicos se realiza en Ansys. En la selección de materiales se determinó mediante ensayos destructivos que el Acero A500 grado B así como el A36 son materiales más comunes en el mundo carroceros por lo tanto es un material ideal para la estructura de prototipos de buggies, ya que en nuestro caso no es para ninguna competencia y si así fuera se utilizaría el aluminio 6061 T6 por sus diferentes propiedades aerodinámicas, reducción de peso etc. El resultado obtenido fue una estructura que cumple con los requerimientos de las normativas utilizadas y con los parámetros de diseño establecidos en el presente trabajo de titulación entre los principales tenemos peso, dimensiones, espacio, ergonomía, seguridad, rigidez; además la obtención del análisis estático y dinámico, obteniendo así un estudio minucioso para analizar y comparar los parámetros establecidos por la norma ecuatoriana Inen 1323 sobre fabricación de carrocerías. En conclusión el diseño y construcción del chasis se realizó sin ningún inconveniente y se obtuvo una estructura fiable como un prototipo de buggy híbrido 4x4 siendo ligero y rígido en diferentes tipos de terrenos. Finalmente se recomienda seguir con el proceso de construcción mediante el desarrollo de diferentes temas de titulación como diseño y construcción del sistema de suspensión, adaptación de motores eléctricos etc.

PALABRAS CLAVES: <BUGGY (VEHÍCULO)>, <CHASIS>, <ANÁLISIS DINÁMICO>, <ANÁLISIS ESTÁTICO>, <ENSAYOS DESTRUCTIVOS>, <MOTOR ELÉCTRICO>.

ABSTRACT

The object of the current graduation work is designing and building the tubular chassis of the buggy 4x4 hybrid car, then the following methodology is applied: Analyzing and collecting information based on the norms that rule this kind of frames either in material selection and construction parameters or dimensions, space and safety. Designing the chassis by means of the CAD and CAE software, Building the chassis by selecting the materials appropriately; The CAD modelling was done in Solidworks and the simulation of the behavior of the chassis to the static and dynamic effort was done in Ansys. In the selection of the materials, it was determined through destructive tests that the steel A500 grade B as well as the A36 are very common materials in the bodywork world so, it is an ideal material for the prototype structures of the buggies, since our case is not for competitiveness purposes, and if it was, Aluminum 6061T6 would be used due to its different aerodynamic properties, weight reduction, etc. The result obtained was a structure which fulfills the requirements of the norms used and with the parameters of design stated in the current graduation work. Among the most important we have weight, dimensions, space, ergonomics, safety, rigidity; as well as obtaining the static and dynamic analysis, having then a detailed study to analyze and compare the parameters stated by the Ecuadorian Norm INEN 1323 about bodywork manufacturing. In conclusion, the design and construction of the chassis was performed with no inconveniences and a reliable structure was obtained as a prototype for the hybrid 4x4 buggy being light and rigid in different types of lands. Finally, it is recommended to continue with the process of manufacturing by means of developing different graduation topics as the design and construction of the suspension system, adaptation to electrical engines, etc.

KEY WORDS: < BUGGY (VEHICLE)>, <CHASSIS>, <DYNAMIC ANALYSIS>, <STATIC ANALYSIS>, < DESTRUCTIVE TESTS>, <ELECTRIC ENGINE>.

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

Un buggy, es un tipo de vehículo que está netamente diseñado para circular en diferentes tipos de terrenos ya que la gran mayoría suelen tener tracción 4 x 4, por lo tanto un chasis debe ser tubular ligero, con una carrocería rígida sin techo y ruedas grandes. Los primeros buggies fueron creados hace 50 años atrás por Bruce F. Meyers sobre la base de un Volkswagen Escarabajo. (SALINAS, 2015)

Por norma general, la disposición del motor es trasera al igual que la tracción; esta configuración le confiere actitudes de sobreviraje. Actualmente se están creando modelos con tracción a las 4 ruedas y versiones como monoplaza y biplaza. Este tipo de vehículos son utilizados en la zona urbana y rural; donde, la población da uso en los diferentes trabajos de campo además pueden ser empleados para usos recreativos, competición y turismo. (SALINAS, 2015)

La estructura es una de las partes principales en un vehículo, la cual soporta a todos los elementos que están alojados en ella. Un chasis es eficiente cuando combina de forma óptima una elevada rigidez con el mismo peso posible, esto permite una posición cómoda para la conducción, a su vez brinda seguridad necesaria al ocupante y garantiza la integridad en caso de colisión.

El chasis tubular del vehículo híbrido tipo buggy 4 x 4 albergará un motor de combustión interna, dos motores eléctricos, batería de litio entre los principales, además estarán acoplados el sistema de suspensión independiente, sistema de frenos, sistema de dirección y sistema de transmisión.

La Escuela de Ingeniería Automotriz al no contar con un vehículo híbrido tipo buggy 4 x 4, da la necesidad a través de este proyecto de titulación conveniente el diseño y construcción del chasis que reúna características técnicas de desempeño, el cual contara con una minuciosa investigación y la debida sustentación, aportando de esta manera a la carrera y a la sociedad con información tecnológica, promoviendo la utilización de energías alternativas y la disminución de la contaminación al medio ambiente.

1.2. Justificación

Un automóvil está constituido por un gran número de mecanismos, cada uno de los cuales desempeñan una función especial, ya que el funcionamiento de este vehículo es muy complejo en estrecha relación con los demás. En la actualidad existe una gran variedad de modelos, que en lo esencial de su estructura utilizan elementos similares. (CASCAJOSA, 2005)

El comportamiento del chasis es más rígido que la carrocería. Sin embargo, es importante en el momento de un choque, la carrocería se deforme todo lo que se pueda para no transmitir la energía de colisión al piloto y por otra parte interesa que el chasis se deforme poco para no alterar las características geométricas de los elementos que se acoplan en él. (ALONSO PEREZ, 2010)

Se han llamado híbridos a los automóviles que utilizan un motor eléctrico, y un motor de combustión interna para realizar su trabajo. En el sistema paralelo, el motor térmico es la principal fuente de energía y el motor eléctrico actúa aportando más potencia al sistema. Una de las grandes ventajas de los híbridos es que permiten aprovechar un 30% de la energía que generan, mientras que un vehículo convencional de gasolina tan sólo utiliza un 19%.

El sector automotriz del país va en aumento, razón por la cual el porcentaje de la contaminación es creciente; con este prototipo lo que se quiere es tener un vehículo amigable al medio ambiente que utilice energías alternativas, que al transitar por el campo o por diferentes terrenos pueda emanar gases menos contaminantes.

Tener un vehículo de este tipo resulta demasiado costoso y los estudiantes no cuentan con recursos suficientes; por esta razón, se busca que el taller cuente con uno de ellos y puedan realizar prácticas de las diferentes asignaturas donde puedan desarrollar todas sus destrezas con criterio ingenieril, así obtener mayor conocimiento durante su formación académica y puedan adaptar e incorporar nuevos componentes.

El presente proyecto tecnológico tiene como propósito, diseñar y construir un chasis tubular del vehículo híbrido tipo buggy 4 x 4 para el taller de la Escuela de Ingeniería Automotriz y satisfacer las diferentes necesidades.

1.3. Objetivos

1.3.1. *Objetivo general*

Diseñar y construir el chasis tubular del vehículo híbrido tipo buggy 4 x 4 para la carrera de Ingeniería Automotriz que garantice el soporte y seguridad de los elementos que conforman el mismo.

1.3.2. *Objetivo específicos:*

Modelar y diseñar mediante CAD los elementos que componen el chasis del vehículo híbrido tipo buggy 4 x 4 con la utilización del Software Solidworks.

Realizar el análisis de esfuerzos mediante métodos de elementos finitos utilizando el software ANSYS, tomando en cuenta los parámetros de los motores alternativos.

Construir el chasis utilizando tecnología del medio local basada en la aplicabilidad de la norma de estandarización.

Validar el producto empleando las diferentes cargas a la estructura basada en la Norma Inen 1323.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Historia del buggy

Los buggies se inician principios de los 60 del siglo pasado. En aquella época muchos jóvenes americanos transformaban vehículos para poder rodar por las arenas de las playas, buscando otra forma de divertirse. Pero esos vehículos consistían solamente en un chasis modificado con sus potentes motores al aire, sin nada de diseño ni estética. Estos vehículos se popularizaron, por todo el mundo como un vehículo de aventura y uso diario. (SALINAS, 2015)



Figura 1-2: Buggy de los años 50

Fuente: (SALINAS, 2015)

Bruce Meyers, un marino diseñador de barcos, desembarcó en una de esas playas y decidió hacer lo mismo pero con ideas de ingeniero, lo que le llevó a sacar en el año 1964 un buggy ligero que consistía en un monocasco montado sobre dos ejes y la dirección de un volkswagen escarabajo con dos asientos y un motor bóxer refrigerado por aire, fue una verdadera revolución de la época. (SALINAS, 2015)

En 1970, administraba la sociedad Meyers&Co, con 80 trabajadores, acuerdos con 75 concesionarios y 7000 buggies vendidos, pero los diferentes países ya copiaron el modelo que al poco tiempo ya tenía alrededor de 300 competidores. (SALINAS, 2015)

Pero en 1994 se celebró en Francia un encuentro mundial de buggies e invitaron a Meyers como padre de la creación. Esto lo devolvió la confianza, volvió a América y refundo su empresa, se puso producir nuevo buggies con cuatro plazas, hoy en día Meyers se dedica a seguir trabajando en nuevos modelos.

2.2. Buggy

Buggy se denomina al vehículo hecho artesanalmente con las condiciones necesarias para realizar el trabajo que se le dé. Estos vehículos se han usado mucho para circular en terrenos irregulares como deporte, aventura y trabajo de campo. El mercado de los buggies se encuentra en pleno desarrollo ya que ofrecen un manejo mucho más intuitivo y que permiten disfrutar de la circulación por entornos naturales con un menor riesgo de daño en caso de accidente. (Buggies&UTV&Quad Jet, 2013/2014)



Figura 2-2: Buggy estructural tubular biplaza

Fuente: (ALONSO PEREZ, 2010)

2.3. Marcas de buggy

En el mercado hay una infinidad de marcas de buggies de acuerdo a las características de desempeño, pero entre las principales que se encuentran a nivel local, se detalla a continuación:

- Jpm
- Polaris
- Kawasaki
- Yamaha

2.3.1. *Jpm*

Es de origen chino de bajo rendimiento y de calidad media que demanda mucho mantenimiento, tiene un costo de alrededor \$5.000. (Buggies&UTV&Quad Jet, 2013/2014)



Figura 3-2: Buggy JPM

Fuente: (Quad Jet, 2014)

2.3.2. *Polaris*

La marca Polaris que también está presente en el país es de origen estadounidense, son de buena calidad y pueden ser usados para competición de rally, tiene una capacidad hasta de 5 personas con motores de 1300cc, estos buggies tienen un costo de entre \$20.000 y \$40.000 dependiendo del modelo. (Quad Jet, 2014)



Figura 4-2: Buggy marca Polaris motor 900

Fuente: (Buggies&UTV&Quad Jet, 2013/2014)

2.3.3. *Kawasaki y Yamaha*

Son de origen japonés con tracción a las 4 ruedas por lo que son utilizados para correr en 4x4 y trepada de montaña, además tienen buena calidad y alto rendimiento con un costo alrededor de \$15.000. (Power Parts, 2016)



Figura 5-2: Buggy Yamaha

Fuente: (Power Parts, 2016)

2.4. Clasificación

Todo vehículo buggy tiene una clasificación de acuerdo al número de persona que vaya transportar, entre ellas tenemos:

- Monoplaza
- Biplaza
- Anfíbio
- Car Cross

2.4.1. *Monoplaza*

Un vehículo buggy monoplaza puede recorrer por diferentes terrenos, son utilizados para el turismo o competición y tiene una capacidad para una sola persona. La gran mayoría están fabricados de estructura tubular, por esta razón el chasis es más seguro y tienen la relación rigidez-peso, estos vehículos tienen dimensiones menores, lo cual hace que sean relativamente liviano; gracias a esto el conductor tiene una conducción agresiva y cómoda. (Intercom, 2012)



Figura 6-2: Vehículo tipo buggy monoplaza

Fuente: (Intercom, 2012)

Ventajas

- Buena relación rigidez-peso.
- La fabricación en estructura tubular es económica tomando en cuenta la calidad que se obtiene.

Desventajas

- No es apto para una producción en serie por el proceso de fabricación.

2.4.2. Biplaza

Este tipo de vehículo buggy tiene capacidad para dos personas, son fabricados con estructura tubular, ofrece rigidez y seguridad circulando en todo tipo de superficies. Se necesita un motor de mayor capacidad o mayor cilindrada ya que tiene más peso que el anterior. (Power Parts, 2016)



Figura 7-2: Vehículo tipo buggy biplaza

Fuente: (Power Parts, 2016)

2.4.3. *Anfibio*

Estos vehículos son de tipo oruga que tienen hasta 8 neumáticos en línea, son distintos al resto ya que tienen la capacidad de circular por tierra y agua, su fabricación son de polietileno de alta densidad para poder flotar, llevan motores que alcanzan una velocidad de 40 km/h por tierra y 4 km/h por agua, tienen tracción en todas las ruedas. (Los Autos tipo Buggy, 2013)



Figura 8-2: Vehículo buggy tipo anfibio

Fuente: (Los Autos tipo Buggy, 2013)

Ventajas

- Control de dirección muy ergonómico
- Diseño innovadora y espacio para 5 pasajeros
- Capacidad de carga de hasta 1150 lb en tierra y 1000 libra sobre el agua

Desventajas

- Velocidad muy limitada
- No es útil en terrenos con dificultades técnicas

2.4.4. *Car Cross*

El Car-Cross es una de las disciplinas más económica y sencilla de practicar, son exclusivamente para competencias y la fabricación de estructura tubular, tienen dimensiones pequeñas aptas para una persona, la altura del suelo con el vehículo es muy

baja para tener rápida aceleraciones en rectas y derrapes en curvas. Tienen motores de cilindrada pequeña. (2011)



Figura 9-2: Vehículo de competencia Car -Cross

Fuente: (2011)

Ventajas

- Fácil pilotaje debido a sus mínimas dimensiones
- Buena relación rigidez-peso, debido a la estructura tubular
- Altas velocidades

Desventaja

- No es apto para terrenos dificultoso ya que la altura del suelo con el vehículo es muy corta.

2.5. Vehículo buggy híbrido eléctrico

En la actualidad este tipo de vehículos están haciendo su aparición con un incremento significativo, debido a la contaminación al medio ambiente, entre ellas tenemos:

- Híbrido eléctrico XV-1
- Híbrido eléctrico citroën
- Híbrido evi sri electric

2.5.1. Híbrido Eléctrico XV-1

El vehículo esta propulsado por un motor eléctrico de 160 kW de potencia, junto con baterías de litio de alto rendimiento. La propulsión eléctrica genera firmas custicas y

térmicas más bajas que un motor de combustión interna lo que reduce enormemente la firma del vehículo al tiempo que proporciona un mayor nivel de seguridad a los ocupantes. (MILSPRAY, 2015)

Este vehículo ofrece una velocidad máxima de 96,5 km/h con autonomía de 483 km comprendida por 81 km totalmente eléctricos a baterías y una autonomía extendida de 402 km a combustible. El XV-1 tiene una capacidad de carga de 454 kg y de remolque de 454kg, además es totalmente blindado. (MILSPRAY, 2015)



Figura 10-2: Vehículo Híbrido eléctrico XV-1

Fuente: (MILSPRAY, 2015)

2.5.2. *Híbrido eléctrico citroën*

El E-MEHARI ha tomado forma en un tiempo record gracias a la colaboración con el fabricante francés Bolloré. Lo primero que llama la atención es su estilo y tamaño, tiene un motor eléctrico alimentado por baterías de litio que proporciona una autonomía alrededor de 200 km, se carga en 13 horas en un enchufe domésticos. (Citroë E-Mehari, 2016)



Figura 11-2: Vehículo Híbrido eléctrico Citroën

Fuente: (Citroë E-Mehari, 2016)

2.5.3. *Híbrido evi sri electric*

Este buggy eléctrico es la nueva creación del grupo EV West, aún no han dado a conocer las especificaciones técnicas del modelo por limitaciones reservadas hasta el 2020. (Ruben, 2012)



Figura 12-2: Vehículo Híbrido ELVI SRI Electric

Fuente: (Ruben, 2012)

2.6. Chasis

Un chasis tipo buggy está construido con uno o varios tipos de materiales que sujetan a todos los mecanismos adicionales. Como toda estructura del vehículo, al comienzo de la historia, el bastidor se copió de los empleados en los carruajes de la época. Basado en dos largueros longitudinales, enlazados entre sí mediante travesaños, se mantuvo para todos los vehículos, hasta los años 1940. A partir de entonces fue evolucionando según los tipos. (CASCAJOSA, 2005)

El chasis es el armazón metálico sobre lo que se montan y relacionan todos los elementos del automóvil: la carrocería, el motor y la transmisión por un lado y la suspensión con la rueda por el otro. Normalmente está constituido; ver la figura 13-2, por dos largueros unidos entre sí por varios travesaños, todas ellas de acero estampado con sección en U, tubular y rectangular. (ARIAZ - PAZ, 2004)

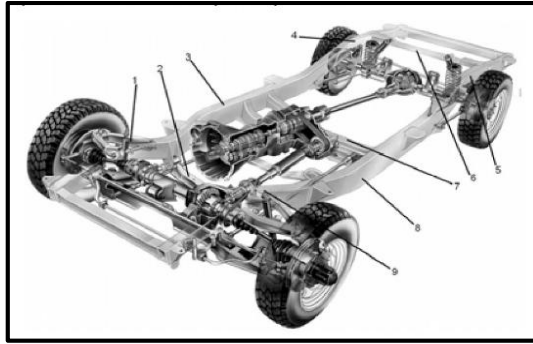


Figura 13-2: Bastidor de un chasis

Fuente: (ALONSO PEREZ, 2010)

2.6.1. Tipos de chasis

Los chasis suelen diseñarse con diferentes formas y geometría, en función de diversas solicitaciones como la resistencia y distribución especial de cargas, entre los principales tenemos:

- Chasis tipo de escalera
- Chasis tipo columna vertebral
- Chasis tipo tubular
- Chasis tipo monocasco

2.6.1.1. Chasis tipo escalera

Es el más antiguo y común. Este tipo se ha convertido en el estándar para la mayoría de los tipos de automóviles. Su diseño es muy básico y tiene algunas otras ventajas, como por ejemplo que puede ser producido en masa ya que es bastante barato de fabricar. La mayor desventaja es que hay poca profundidad a la estructura general dándole un centro de gravedad muy bajo. (2013)

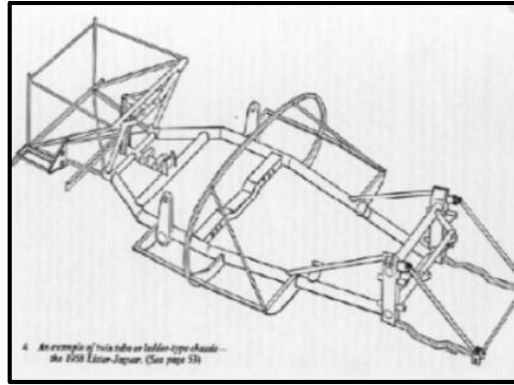


Figura 14-2: Chasis tipo escalera

Fuente: (2013)

2.6.1.2. *Chasis tipo columna vertebral*

Este tipo de estructura fue inventada por Colin Chapman. El utilizó una celosía en forma de columna vertebral para conectar el eje delantero al trasero. La columna vertebral proporciona la estructura para todos los componentes de trabajo del vehículo. Este chasis se utiliza sobre todo en los roadsters. Como desventaja, son muy pesados para ser usados en autos deportivos y demasiado caros para ser producidos en masa. (2013)



Figura 15-2: Chasis de columna vertebral

Fuente: (2013)

2.6.1.3. *Chasis tipo tubular*

La carrocería tubular (superligera en italiano), es un tipo de carrocería utilizado en vehículos clásicos deportivos. Fue creado por el carrocer italiano Touring en 1937. Utiliza como estructura de vehículos una red de tubos finos que son recubiertas con láminas o partes no metálicas como fibra de carbono o fibra de vidrio, de esta manera se consigue una carrocería de gran rigidez y resistencia con muy poco peso. (2013)



Figura 16-2: Chasis de estructura tubular

Fuente: (2013)

2.6.1.4. *Chasis tipo monocasco*

Este tipo de chasis es utilizado por su costo muy reducido de producción. El vehículo puede ser de estructura tubular con recubrimiento en fibra de vidrio. Este tiene un nombre común y se le llaman carrocería autoportante debido a que la chapa externa del vehículo soporta todo o parte de la carga estructural. Su utilización está limitada únicamente para terrenos planos. (Perez Asacanio Eduardo, 2011)



Figura 17-2: Chasis monocasco

Fuente: (Perez Asacanio Eduardo, 2011)

2.7. **Industria Automotriz**

El boom de la producción automotriz en Ecuador empezó en la década de los años 50, cuando empresas del sector metalmecánico y el sector textil comenzaron la fabricación de carrocerías, asientos para buses, algunas partes y piezas metálicas. En la actualidad, la contribución de la industria automotriz tiene un gran peso en el aparato económico nacional. (Análisis Sectorial Automotriz, 2017)

En Ecuador, se ha ensamblado vehículos por más de tres décadas, en el año 1973 comenzó la fabricación de vehículos, con un total de 144 unidades de un solo modelo, conocido en aquel entonces como Andino, ensamblado por AYMESA hasta el año

1980. En la década de los años setenta, la producción de vehículos supero las 5,000 unidades. (Análisis Sectorial Automotriz, 2017)

En relación a las empresas ensambladoras, como ya se mencionó, la primera planta en el país, fue Autos y Maquinas del Ecuador S.A Aymesa, iniciando operaciones a partir del año de 1973. Luego se creó la compañía Ómnibus BB Transportes S.A., siendo hasta ahora la ensambladora con el mayor número de unidades producidas. (Análisis Sectorial Automotriz, 2017)

Las ensambladoras presentes en el país, General Motors Ómnibus BB GM-OBB, AYMESA Y CIAUTO productoras de vehículos de las distintas marcas respectivamente, debido a su alto grado de tecnificación, han logrado ser reconocidos por sus productos de alta calidad, reconocida en el mercado nacional e inclusive en sus destinos de exportación. (Análisis Sectorial Automotriz, 2017)

En el país existen varias organizaciones a cargo de la industria automotriz tales como: Cámara de la Industria Automotriz Ecuatoriana (CINAE) encargada de la relación entre la industria pública y privada; Asociación Ecuatoriana Automotriz (AEA) se encarga de controlar leyes y regulaciones dispuestas por el gobierno; Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE) encargada de las empresas complementarias a las industria automotriz. Estas organizaciones juntas como otras más, han sacado a delante la producción ecuatoriana de vehículos años tras año. (CINAE, 2013)

2.8. Materiales

2.8.1. Tipos de materiales

La ventaja competitiva que se puede lograr con el uso de materiales de gran resistencia y con un bajo peso es de gran ayuda para minimizar el peso total del vehículo, lo cual es un parámetro de gran importancia en el diseño, ya que representa la carga misma que debe mover el buggy. Hoy en día se cuenta con una variedad de materiales polímeros, metálicos, que permiten optimizar el peso. (Siguenza, y otros, 2012)

- **Titanio:** Elementos fabricados de titanio son usados exitosamente en proyectos de ingeniería tiene muchas otras aplicaciones inclusive en el campo de la salud, por sus altas propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión.

- **Aluminio:** Un chasis fabricado en aluminio es ligeramente más pesado que uno fabricado en titanio, este es mucho menos costoso y se lo puede conseguir en una amplia gama de perfiles estructurales con varios espesores y además es más fácil de soldar que el titanio.
- **Acero:** El acero es ampliamente usado en la construcción de estructuras metálica y varios proyectos de ingeniería debido a su alta soldabilidad, gran resistencia, rigidez, bajo costo y la facilidad que existe de encontrarlo en el mercado en varias, pero la principal desventaja frente al aluminio es su peso ya que es aproximadamente tres veces mayor.

Los principales componentes que ayudan a mejorar las propiedades de los aceros son:
(Bermeo, y otros, 2014)

- **Carbono:** Este influye en el comportamiento del acero, al aumentar el porcentaje adecuado de carbono, mejora la resistencia mecánica, la templabilidad y disminuye la ductilidad.
- **Azufre:** Aumenta la maquinabilidad, ya que forma inclusiones llamada sulfuro de magnesio.
- **Fósforo:** Mejora la resistencia mecánica, reduce la ductilidad de la ferrita, se tiene mejor brillantez y acabado. Este elemento, en cantidades pequeñas, varía las propiedades mecánicas del acero.
- **Molibdeno:** Formador de carburos, reduce el crecimiento del grano, mejora la resistencia al desgaste y la capacidad de conservar la dureza a temperaturas altas.
- **Cobalto:** Aumenta la dureza, y asociado con el níquel, forman aceros de bajo coeficiente de dilatación, aumenta la velocidad de enfriamiento, en los aceros trabajados en caliente y rápidos incrementa la disipación de calor.
- **Manganeso:** En cantidades mayores al 1% es el principal elemento que aumenta la dureza en aceros al carbono de alta resistencia. Mejora la resistencia a la tracción, al desgaste, es de fácil soldabilidad y mecanizado.

2.8.2. *Acero estructural*

El acero es uno de los más importantes materiales estructurales entre sus propiedades, están la alta resistencia, comparada con cualquier otro material disponible y la ductilidad, este teniendo la capacidad de deformarse sustancialmente ya sea a tensión o compresión o tracción antes de fallar. (Cruz, 2008)

Ventajas

- Alta resistencia: La alta resistencia del acero por unidad de peso implica que será relativamente bajo el peso de la estructura.
- Uniformidad: Las propiedades no cambian en el tiempo
- Durabilidad: Si el mantenimiento es adecuado durara indefinidamente.
- Ductilidad: Este soporta grandes deformaciones sin fallar bajo altos esfuerzos de tensión.
- Tenacidad: Los aceros son tenaces, poseen resistencia y ductilidad.

Desventajas

- Susceptibilidad de pandeo: Cuanto más largos sean los miembros a compresión, tanto mayor es el peligro de pandeo.
- Fatiga: El acero puede reducirse su resistencia si se somete a gran número de esfuerzos de tensión.
- Fractura frágil: Bajo ciertas condiciones, el acero puede perder su ductilidad y la falla puede ocurrir en lugares de concentración de esfuerzos.

2.8.3. *Propiedades del acero*

Las especificaciones del AISI 1996, reconocen a 14 tipos de acero de la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales o ASTM (por sus siglas en inglés American Society for Testing and Materials), entre ellas está el ASTM A500 tubulares estructurales redondos y de otros perfiles laminados en frío de acero de carbono. (McCormac, 2008)

Tabla 1-2: Propiedades mecánicas de aceros reconocidos por el AISI

Designación del ASTM	Producto	Grado	Fy (min) kg/cm2	Fu (min/máx.) Kg/cm2	% elong. en 5,08 cm (min)	Fu/Fy (min)
A500 Tubo estructural redondas de acero	Tubos Redondos	A	2319	3162	25	1.36
		B	2951	4076	23	1.38
		C	3232	4357	21	1.35
		D	2530	4076	23	1.61

Fuente: (Luis Andrade de Mattos Dias, 2006)

Son perfiles redondos HSS formados en frio, cuyo esfuerzo de fluencia y resistencia a la tracción se encuentra en el orden de los 3250 y 4100 kg/cm2. (McCormac, 2008)

Tabla 2-2: Propiedades de aceros estructurales A 500 grado B

ASTM A500 Steel, grade B, shaped structural tubing			
Categories: Metal, Ferrous Metal, ASTM Steel, Carbon Steel, Low Carbon Steel			
Material: The Cu content of 0.18% is a minimum content when copper steel is specified			
Key Words: Copper steels, copper-steels, UNS K03000, ASTM A501			
Vendors: Please click here if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.			
Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	7.85 g/cc	0.284 lb/in3	Typical of ASTM Steel
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Tensile Strength, Ultimate	400 MPa	58000 psi	
Tensile Strength, Yield	315 MPa	45700 psi	
Elongation at Break	23.0%	23.9%	
Bulk Modulus	140 GPa	20300 ksi	Typical for steel
Shear Modulus	80.0 GPa	11600 ksi	Typical for steel
Material Components Properties	Metric	English	Comments
Carbon, C	<=0.30%	<=0.30%	
Copper, Cu	<=0.18%	<=0.18%	
Iron, Fe	99.0%	99.0%	
Phosphorous, P	<=0.050%	<=0.050%	
Sulfur, S	<=0.0630%	<=0.0630%	

Fuente: (2017)

2.9. Tubo circular

Se define como sección hueca circular, cuadrada o rectangular que puede ser utilizada para el contenido de fluidos o para formar estructuras. Estas pueden ser metálicas como no metálicas que se encuentren normalizadas. (Cruz, 2008)



Figura 18-2: Tubo de sección circular

Fuente: (SRL, 2017)

Existe una variedad de materiales, es deber del diseñador determinar el tipo, la geometría y dimensiones del tubo que se va utilizar para la construcción. (SRL, 2017)

Tabla 3-2: Tamaño nominal de tubos redondos

TUBOS REDONDOS									
Diámetro		Espesores en mm							
Pulg.	mm.	0,90	1,25	1,60	1,80	2,00	2,50	2,85	3,20
1/2"	12,70	0,292	0,354	0,441	0,505	-	-	-	-
5/8"	15,87	0,333	0,451	0,564	0,616	0,685	-	-	-
3/4"	19,05	0,403	0,550	0,690	0,755	0,842	-	-	-
7/8"	22,22	0,474	0,647	0,815	0,906	0,999	-	-	-
1"	25,40		0,545	0,746	0,941	1,0481	1,156	-	-
1 1/8"	28,57	0,615	0,844	1,066	1,171	1,313	1,610	1,811	2,005
1 1/4"	31,75	0,686	0,942	1,192	1,310	1,470	1,806	2,034	2,257
1 3/8"	34,92	0,756	1,040	1,317	1,449	1,626	2,002	2,258	2,507
1 1/2"	38,10	0,826	1,138	1,442	1,611	1,783	2,198	2,481	2,758
1 3/4"	44,44	-	1,333	1,693	1,893	2,097	2,590	2,928	3,752
2"	50,80	-	1,530	1,944	2,175	2,411	2,983	3,375	3,762
2 1/4"	57,15	-	1,726	2,195	2,460	2,724	3,375	3,822	4,264
2 1/2"	63,50	-	1,922	2,446	2,830	3,088	3,767	4,269	4,766
3"	76,20	-	2,314	2,948	3,303	3,665	4,551	5,163	5,770
3 1/2"	88,90	-	-	3,450	3,874	4,293	5,335	6,057	6,774
4"	101,60	-	-	3,952	4,430	4,920	6,119	6,952	7,778
4 1/2"	114,30	-	-	-	-	5,548	6,904	7,846	8,781
5"	127,00	-	-	-	-	6,175	7,668	8,740	9,785
5 1/2"	139,70	-	-	-	-	-	-	-	10,772
6 5/8"	168,30	-	-	-	-	-	-	-	13,049

Fuente: (LG CREAR, 2013)

2.9.1. *Doblado de tubos*

El doblado de material tubular es más difícil que el de láminas porque un tubo tiende a romperse o deformarse cuando se hacen intentos para doblarlos. Se usan mandriles flexibles especiales que se insertan en el tubo antes de doblarlo para que soporten las partes durante la operación. Los esfuerzos causa adelgazamiento y elongación de la pared externa, y engrosamiento y acortado de la pared interna de acuerdo a la figura 19-2. (MIKELL P, 2013)

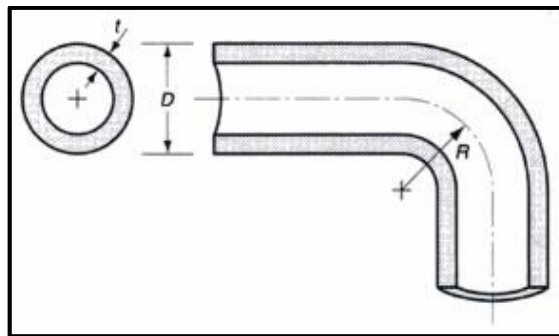


Figura 19-2: Operación de doblado de tubos

Fuente: (BENDIX, 2012)

Dónde:

D= Diámetro exterior del tubo

R= Radio de doblado

t= espesor de la pared

Para doblar un tubo circular, es importante tomar en cuenta factores como: el espesor del tubo como se indica en la figura 19-2. La complejidad del doblez depende del espesor y de la radio de la curvatura, a mayor espesor del tubo y menor radio de curvatura, mayor dificultad de doblez, lo contrario sucede a mayor es el diámetro, el tubo se torna más débil puede existir riesgo de ruptura. (L., 2009)

Factores que interviene en el doblez del tubo según:

- Espesor del tubo
- Diámetro interno
- Diámetro externo

- Radio mínimo
- Radio máximo
- Dureza

2.9.2. Principio del curvado

Según la norma DIN 8582 determina que el curvado es la deformación permanente que sufre un material tras aplicar sobre el mismo un determinado esfuerzo flector. El curvado se efectúa en frío. El curvado con brazo giratorio y mandril es la tecnología actualmente más precisa, versátil de estricta calidad y gran capacidad de automatización. (2013)



Figura 20-2: Dobladora de tubos por empuje hidráulico

Fuente: Autores

2.10. Soldadura

La soldadura es un proceso que une de forma permanente a dos componentes separados mediante el calor para convertirlos en una nueva pieza. La soldadura por arco usa la energía eléctrica para fundir y unir metales, es el proceso más usado al momento de ensamblar las barras del chasis. Un tubo circular necesita un bisel como se indica en la figura 21-2, esto se debe a que al momento de empatar las superficies no son planas. (2015)



Figura 21-2: Unión de tubo circular

Fuente: (2015)

2.11. Teoría de diseño

2.11.1. *Concepto de diseño*

El diseño se enfoca a la forma de realización del producto en particular a diferencia del diseño de ingeniería que se enfoca en máquinas y herramientas. Diseñar es formular un plan para satisfacer una necesidad específica a resolver un problema. Si el plan resulta en la creación de algo físicamente real, entonces el producto debe ser seguro, confiable, competitivo, útil, que pueda fabricarse y comercializarse. (Shigley, 2005)

Es responsabilidad del diseñador garantizar que la pieza sea segura para funcionar bajo condiciones razonables previsibles. Debe el sector evaluar con cuidado la aplicación donde se vaya a usar el componente, la naturaleza de las cargas, los tipos de esfuerzos a los que estará sometido el componente, el tipo de materia que se va usar y el grado de confianza. (Mott, 2006)

A continuación los tipos de cargas de diseño de estructuras de acuerdo a la Norma Inen 1323 que aplica a toda construcción de carrocerías importadas o de construcción nacional: (Vivas, y otros, 2014)

- **Cargas de diseño (Wd).**- Es importante en todo diseño estimar las diferentes cargas a la que estará sometida la estructura durante su vida útil. Y la fórmula para los cálculos son las siguientes:

$$Wd = C_m + C_h \quad (1)$$

Dónde:

Cm= Carga Muerta

Ch= Carga sísmica

- **Carga Permanente (Pe).**- Comprende el peso propio de la estructura y el de todas las partes que están sujetas a la misma. Y la ecuación es:

$$Pe = \sum(\text{peso del elemento} * \text{numero de elementos}) \quad (2)$$

- **Carga de seguridad.**- Se debe conocer el área total del habitáculo de carga (Ah) del prototipo presentado en este caso es biplaza (2 ocupantes).

$$Ah = l * l \quad (3)$$

Dónde:

Ah= área del habitáculo [m²]

l = Distancia del área del habitáculo

Por lo normal esta carga es en kg por cada m² entonces tenemos:

$$Cs = 20 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * Ah \quad (4)$$

Dónde:

Ah= área del habitáculo [m²]

Cs= Carga del habitáculo [kg]

- **Carga muerta (Cm).**- Corresponde al peso total del chasis en condiciones operativas, lo que incluye todos los componentes estructurales y no estructurales. Las cargas muertas son cargas de magnitud constante que permanecen fijas a un mismo lugar. Y la ecuación es:

$$Cm = Pe + Cs \quad (5)$$

Dónde:

Cm = Carga muerta [kg]

Pe = Carga permanente [kg]

Cs = Carga de seguridad [kg]

- **Carga viva (CVi).**- Corresponde a la carga por ocupación y se la considerará como distribuida uniformemente en los respectivos elementos estructurales de la carrocería. Las cargas vivas son aquellas que pueden cambiar de lugar y magnitud.

$$CVi = \text{Peso ocupantes} + (\text{peso ocupantes} * 0,1) \quad (6)$$

- **Carga de viento (cf).**- También llamada resistencia aerodinámica o la fuerza que se opone al movimiento de cualquier objeto en la atmosfera.

$$Ra = cf = \frac{1}{2} (Cx * \delta * A * V^2) \quad (7)$$

Dónde:

Ra= Resistencia aerodinámica [kg]

δ = densidad del aire [1,2 Kg/m²]

V= velocidad m/s [km/h]

AF= Superficie frontal del buggy [m²]

Cx= Coeficiente aerodinámico del buggy (0,3)

- **Carga sísmica (Ch).**- Sumatoria de las cargas vivas, del viento y seguridad

$$Ch = CVi + Cf + Cs \quad (8)$$

Dónde:

CVi= Carga viva

Cf= Carga de viento

Cs= Cargas de seguridad

- **Carga de impacto.**- Corresponde a la fuerza producida en una situación desafortunada que pueda tener el piloto al producirse una colisión, siendo la fuerza de impacto la más significativa y de cuidado que debe tener el proyectista para el diseño de la estructura.

La fuerza de impacto es la establece de tres formas:

- Impacto Frontal se asume un incremento de la masa del vehículo de 8 g
- Impacto Lateral se asume un incremento de la masa del vehículo de 4 g

- Impacto Superior se asume un incremento de la masa del vehículo de 2 g
- **Centro de gravedad.-** La posición del centro de masas del vehículo se calcula con la siguiente expresión:

$$\vec{r}_{CM} = \frac{\sum m_i \vec{r}_i}{\sum m_i} \quad (9)$$

- **Relación Peso Potencia.-** Para una buena relación peso - potencia es recomendable estar por debajo de 10 kg/CV ya que por encima de 12 Kg/ CV la relación peso - potencia es mala en general, mientras menor es la relación mayor es la aceleración. (2011)

$$Rpp = \frac{p}{pot} \quad (10)$$

Dónde:

Rpp = Relación peso-potencia [Kg/ Cv]

P = Peso del vehículo sin ocupantes [462 kg]

Pot = Potencia del motor [125 cv]

2.11.2. *Factor de diseño*

Es una medida de seguridad relativa de un componente bajo la acción de una carga. El diseñador deber determinar el valor del factor de diseño. El valor está definido por códigos establecidos por organizaciones de normalización, como la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Mecánicos (American Society of Mechanical Engineers). (Mott, 2006)

n = 1,25 a 2,0 El diseño de estructuras bajo cargas estáticas, por las que haya un alto grado de confianza en todos los datos del diseño.

n = 2,0 a 2,5 Diseño de elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con una confianza promedio en todos los datos del diseño.

n = 2,5 a 4,0 Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con incertidumbre acerca de las cargas, propiedades de los materiales, análisis de esfuerzos o el ambiente.

$n = 4,0$ o más. Diseño de estructuras estáticas o el elemento de máquinas bajo cargas dinámicas, con incertidumbre en cuanto a alguna combinación de cargas, propiedades del material, análisis de esfuerzos o el ambiente.

2.12. Tracción y Flexión

El chasis para ser construido necesita de un diseño adecuado que sea capaz de soportar las cargas y los esfuerzos de diferentes elementos. A continuación se detalla:

2.12.1. Tracción

Es aquel que tiende a estirar el miembro y romper el material. Donde las fuerzas que actúan sobre el mismo tienen la misma dirección, magnitud y sentidos opuestos hacia fuera del material. (Villalba, 2017)

$$\sigma = \frac{\text{Fuerza perpendicular al área transversal del elemento}}{\text{Área transversal del elemento}} = (+) \frac{T}{A_T} \quad (11)$$

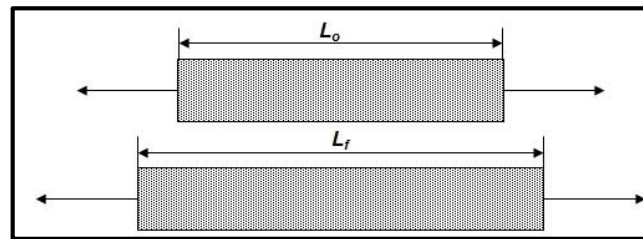


Figura 22-2: Elemento sometido a tracción

Fuente: (Villalba, 2017)

2.12.2. Flexión

Las fuerzas externas actúan sobre el cuerpo tratando de doblarlo, alargando unas fibras internas y acortando otras. (Lisvancelis, 2011)

$$\sigma = \frac{M \cdot c}{I} \quad (13)$$

M = Momeno flexionante

c = Distancia de la fibra mas alejada al eje neutro

I = Momento de Inercia

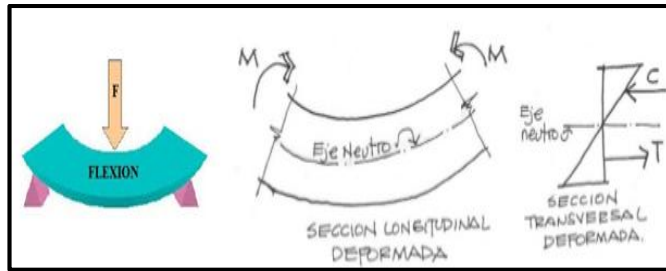


Figura 23-2: Elemento sometido a flexión

Fuente: (Lisvancelis, 2011)

2.13. Modelo descriptivo de diseño

2.13.1. Fases de diseño

Este modelo permite identificar las diferentes fases que son usadas comúnmente por la mayoría de los diseñadores. (EL PROCESO DEL DISEÑO - Metodologías del diseño, 2013)

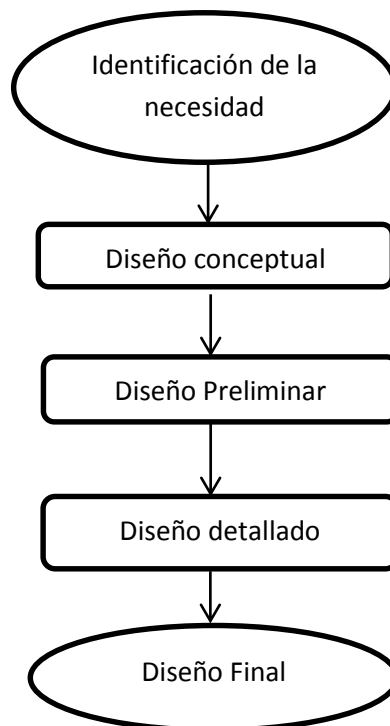


Figura 24-2: Modelo descriptivo lineal del diseño

Fuente: (EL PROCESO DEL DISEÑO - Metodologías del diseño, 2013)

La fase de identificación se buscan conceptos de solución al problema para la cual se analiza el problema identificado, se sintetiza uno o varias posibles soluciones y se

evalúan con respecto a restricciones impuestas. En esta fase se generan principios de solución, pero no se obtienen estructuras de solución lo suficientemente validas como para materializar al problema.

Sin embargo en la fase de diseño preliminar el objetivo es la identificación de los atributos principales de conceptos de diseño para evaluar y seleccionar un concepto a desarrollar. Se obtienen formas específicas, materiales y planos de conjunto con dimensiones generales, que representan al producto como un conjunto organizado de piezas.

Una vez seleccionado el concepto de diseño a desarrollar, el objetivo en la fase de diseño detallado es precisamente afinar y definir en forma detallada dicho diseño final. Esta fase corresponde a la generación de todas las especificaciones necesarias para la producción del producto, la determinación de etapas de fabricación, la identificación de proveedores.

2.13.2. Consideraciones técnicas

Todo elemento tiene determinada resistencia y es importante tener en cuenta la configuración geométrica como las dimensiones. Todos estos factores serán críticos para las condiciones dadas, por consiguiente no habrá necesidad de considerar los demás. (Mott, 2006)

Suelen tenerse en cuenta los factores siguientes:

- Aplicación. ¿Cuáles son las consecuencias de la falla, en término de riesgo para las personas y de costo económico? ¿Son importantes el tamaño o el peso? ¿Para qué duración se diseña el componente?
- Ambiente. ¿A qué intervalo de temperatura estará expuesto el componente? ¿Cuál es el potencial para que haya corrosión? ¿Cuál es el ambiente de vibración?
- Cargas. Las cargas deben caracterizarse como estáticas, repetidas e invertidas, fluctuantes de choque o impacto.
- Tipos de esfuerzos. ¿Qué tipo de esfuerzos se crearan: tensión, compresión, flexión? ¿Se desarrollan los esfuerzos en una dirección (uniaxiales) en dos direcciones (biaxiales) o en tres direcciones (triaxiales)?

- **Material.** Examine las propiedades de resistencia de fluencia, resistencia última de tensión, resistencia última de compresión, resistencia última a la fatiga, rigidez, ductilidad, tenacidad, resistencia a la corrosión y la aplicación de cargas, esfuerzos.
- **Confianza.** ¿Qué tan fiable son los datos de las cargas, las propiedades del material y los cálculos de esfuerzos? ¿Son adecuados los controles de los procesos de manufactura, para asegurar que el componente se producirá como se diseño respecto de la exactitud dimensional? Esas consideraciones afectaran su decisión para el factor de diseño N.

2.14. Software CAD-CAM-CAE

2.14.1. CAD / Diseño asistido por computadora.

Es un programa de diseño mecánico en 3D con el que se pueden crear geometría 3D usando solidos paramétricos, la aplicación está enfocada al diseño de producto, diseño mecánico, ensambles y dibujos para taller. Solidworks diseña de forma que va dejando un historial de operaciones para que se pueda hacer referencia a ellas en cualquier momento. (2017)

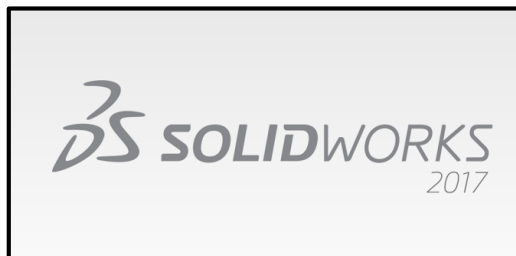


Figura 25-2: Software Solidworks

Fuente: (Cunalata, y otros, 2014)

2.14.2. CAM / Manufactura asistido por computadora.

A partir de la información de la geometría de la pieza, la tecnología del CAM permite generar programas de NC para maquinado sin necesidad de desarrollar el programa con códigos de lenguaje de programación NC anteriormente mencionado y partiendo del diseño de la pieza, se puede desarrollar el proceso de manufactura incluyendo la simulación del maquinado. (Cunalata, y otros, 2014)

2.14.3. CAE / Ingeniería asistida por computadora.

Ansys es un ecosistema de programas CAE para diseño, análisis y simulación de partes por elementos finitos, incluye las fases de preparación de mallado, ejecución y post-proceso, el programa ejecuta análisis de piezas sometidas a fenómenos físicos usadas en ingeniería y diseño mecánico, puede resolver problemas físicos sometidos a esfuerzos térmicos, fluidos, vibración y aplicaciones específicas. (2017)

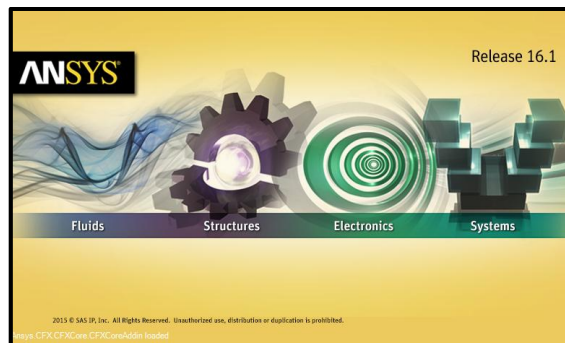


Figura 26-2: Software Ansys 16.1

Fuente: (2016)

Los productos y conocimiento de las aplicaciones de ANSYS ayudarán a entender y optimizar el rendimiento del producto diseñado mucho antes de que un prototipo se haya construido. (2017)

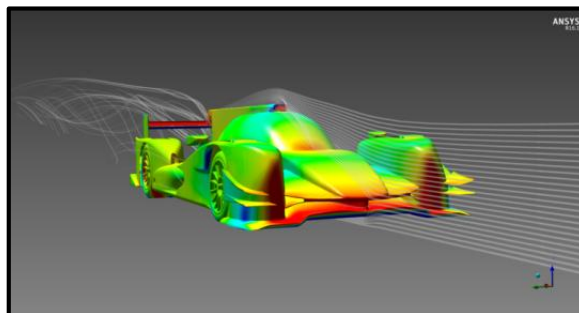


Figura 26-2: Vehículo con simulación aerodinámico

Fuente: (2017)

CAPÍTULO III

3. DISEÑO DEL CHASIS

3.1. Características del modelo a seleccionar

Se detalla varias características y especificaciones tomando en cuenta aquellas que son importantes en el diseño del chasis, principalmente analizando las dimensiones generales del vehículo así como la distribución de los esfuerzos. El modelo a fabricarse está diseñado para todo tipo de terreno con capacidad para dos ocupantes, suspensión independiente además en la parte posterior se acopla un motor convencional y en la parte delantera será constituido por dos motores eléctricos dando así una tracción 4x4 siendo alimentado por baterías de litio quedando la constitución de un buggy híbrido.

3.1.1. *Perfiles a seleccionar*

Cabe destacar por qué la elección de un perfil tubular CHS y no un perfil circular macizo o un cuadrado RHS estas razones se detallaran a continuación: (PERFILES Y TUBOS, 2015)

- Un perfil perforado resiste mayor flexión que uno macizo.
- Tiene la ventaja de poseer el mismo radio de giro para los ejes principales es decir no tiene eje débil.
- Posee un mayor aspecto y una mejor resistencia aerodinámica.
- Proporcionan radios de giro considerables y pesos ligeros.
- Se puede evitar problemas de pandeo
- Eficiencia estructural a menor costo.
- Simplicidad y facilidad de conexiones a los miembros estructurales.
- Disponibilidad del material.

Para la construcción del chasis tubular se ha optado por el CHS por las razones detalladas anteriormente.



Figura 1-3: Perfil Tubular

Fuente: (RODRIGUEZ, 2012 pág. 69)

3.1.2. *Materiales a seleccionar*

La elección del tipo de material de los tubos para la construcción del chasis depende de los factores así como las propiedades mecánicas, soldabilidad, accesibilidad en el mercado y costos.

Se selecciona el acero estructural ASTM A500 grado B basado en la norma INEN 2415, ya que está constituido por una baja aleación de cromo – molibdeno que presenta una gran tenacidad y buena penetración al temple con un mejor grado de soldabilidad debido a su alto contenido de carbono cuyas características se puede observar en la tabla 2-2. (RODRIGUEZ, 2012 pág. 70)

El chasis debe ser resistente y ofrezca garantías de seguridad, para aquello se ha investigado en las normativas de seguridad de la RFDA (Normativas de homologación de estructuras de seguridad para buggies). (NORMATIVA DE HOMOLOGACION DE ESTRUCTURAS DE SEGURIDAD ANTE LA R.F.E DE A., 2017).

En la normativa FIA referente a la estructura de seguridad para vehículos todo terreno hemos podido observar que la única restricción para tubos de acero es que estos no superen el 0.30% de contenido en carbono y tengan una resistencia mínima a la tracción de 350 MPa y en comparación con la norma AISI. (REGLAMENTO TECNICO , 2017).

Tabla 1-3: Nomenclatura aceros.

CORRELACIÓN DE LAS NMX Y ASTM DE ACEROS ESTRUCTURALES					
Nomenclatura		Fy		Fu	
NMX	ASTM	MPa	Kg/cm3	MPa	Kg/cm2
B-254	A 36	250	2,530	400	4,080
	A 529	345	3,515	485	4,950
		380	3,880	485	4,950
	A 242	320	3,235	460	4,710
B-262		345	3,515	485	4,920
		290	2,950	414	4,220
	A 572	345	3,515	450	4,570
B-284		414	4,220	515	5,270
		450	4,570	550	5,620
B-177	A 53	240	2,460	414	4,220
B-199	A 500	320	3,235	430	4,360
B-200	A 501	250	2,530	400	4,080
	A 588	345	3,515	483	4,920
	A 709	250	2,550	400	4,080
		345	3,515	450	4,590
		485	4,950	585	5,965
		690	7,036	585	7,750
		620	6,322	690	7,040
	A 913	483	4,920	620	6,330

Fuente: (ELECCION DEL TIPO DE ACERO PARA ESTRUCTURAS., 2014)

Las principales características del acero ASTM A500 grado B frente a otros son las siguientes:

- Es un material bastante dúctil (hecho que queda reflejado por el porcentaje de elongación que tiene)
- Contiene una gran maleabilidad (es muy usado en la elaboración de barras huecas y planchas).
- Tiene muy buena soldabilidad dado al alto contenido en carbono.

La ductilidad del material es importante conocer debido a que es una estructura formada por perfiles tubulares que está sometida a cargas estáticas y dinámicas donde será probable que existan barras y soldaduras críticas. (RODRIGUEZ, 2012 pág. 72)

Para el piso se utiliza planchas de tol antideslizante de la norma ASTM A36 que se obtiene por laminación en caliente, tiene resaltes en la superficie en una de sus caras, se las utiliza en embarcaciones, carrocerías, pisos de ómnibus, etc., debido a su amplia duración y fácil soldabilidad. (LAMINAS, 2014)

- **Formular la alternativa de selección.-** Para todo diseño se debe seleccionar al menos dos tipos de materiales para escoger la mejor alternativa de acuerdo a lo requerido.

Tabla 2-3: Alternativa de selección

Material	Alternativas
Acero ASTM A 500 grado B	A
Aluminio 6061-T6	B

Fuente: Autores

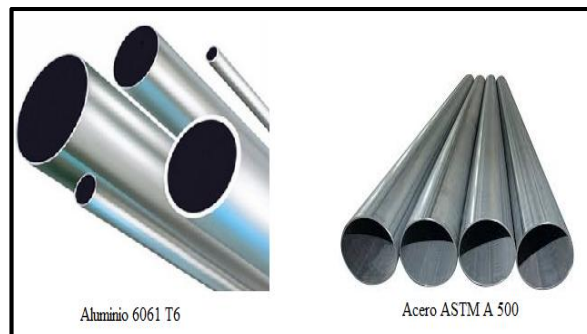


Figura 2-3: Alternativas de selección

Fuente: Autores

- **Criterios de valorización de las alternativas.-** Se detallan a continuación las características de los materiales de valorización:

Tabla 3-3: Criterios de la alternativa

Material	Alternativa	Peso específico kg/m ³
A	Acero ASTM A 500 grado B	7800
B	Aluminio 6061-T6	2580

Fuente: (2017)

- **Propiedades mecánicas:** Se diferencia el material de otro pero relacionado con fuerzas que ejercen externamente.

Tabla 4–3: Propiedades mecánicas de ASTM A500

Propiedad	Valor	Unidad
Límite elástico	315	MPa
Límite de tracción	400	MPa

Fuente: Autores

Tabla 5–3: Propiedades mecánica del aluminio

Propiedad	Valor	Unidad
Límite elástico	275	MPa
Límite de tracción	310	MPa

Fuente: Autores

- Aprobación para criterios de valorización del material**

Tabla 6–3: Nivel de aprobación

Niveles	Inaceptable	Malo	Aceptable	Bueno	Excelente
Aprobación	1	2	3	4	5

Fuente: Autores

De acuerdo a la tabla 6-3, se da el nivel de aceptación del material

Tabla7–3: Criterios de valorización

Alternativa	Criterios de valorización		Aprobación
	Peso Específico	Propiedades mecánicas	
A	5	5	10
B	4	3	7

Fuente: Autores

- Seleccionar la alternativa más adecuada:** De acuerdo a la tabla de aprobación se determina que la alternativa A es la más adecuada, el mismo que tiene más puntuación. La alternativa A pertenece al Acero Estructural ASTM A 500 grado B, por tal razón que el chasis es construido con este material.



Figura 3-3: Acero ASTM 500

Fuente: Autores

Las propiedades mecánicas del acero estructural A 500 grado B se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 8-3: Propiedades mecánicas del acero.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	7.85 g/cc	0.284 lb/in ³	Typical of ASTM Steel
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Tensile Strength, Ultimate	400 MPa	58000 psi	
Tensile Strength, Yield	315 MPa	45700 psi	
Elongation at Break	23.0%	23.9%	
Bulk Modulus	140 GPa	20300 ksi	Typical for steel
Shear Modulus	80.0 GPa	11600 ksi	Typical for steel

Fuente: Autores

3.1.3. Dimensiones generales de un buggy

Tabla 9-3: Dimensiones del buggy

Características	Dimensiones en mm
Longitud total	3081.42
Ancho total	1618.70
Altura total desde el suelo	1175
Distancia entre ejes	Aprox. 2400
Distancia al piso (buggy-suelo)	250-300

Fuente: Autores

3.1.4. Distribución general de las cargas

En la siguiente tabla se aprecia las cargas distribuidas más importantes que esta aplicado en el chasis del buggy.

Tabla 10-3: Peso aproximado de elementos del buggy

Distribución aproximada de cargas en el vehículo	
Peso total de la estructura tubular	90 kg
Peso total del conjunto motor- caja	180kg
Peso total de los motores eléctricos	30 kg
Peso total de las baterías de litio	40 kg
Peso total de las ruedas	30 kg
Peso total del depósito de combustible	2 kg
Peso de los amortiguadores	16 kg
Peso total de la carrocería	14 kg
Peso total de las partes mecánicas, accesorios, sistema eléctrico, equipamiento.	40 kg
Peso total de la suspensión	25 kg
Peso total de los asientos	18 kg
Total	485 kg

Fuente: Autores

Tabla 11-3: Peso aproximado del vehículo en marcha

Peso aproximado del vehículo en marcha	
Peso total de los ocupantes	140 kg
Peso total de combustible (depósito lleno)	8 kg
Total	148 kg

Fuente: Autores

Sumando las dos tablas se tienen el peso total del chasis que se aprecia en la siguiente tabla.

Tabla 12-3: Carga total del chasis

Peso totales de la estructura incluido el chasis	
Distribución aproximada de cargas en el vehículo	485 kg
Peso aproximado del vehículo en marcha	148 kg

Fuente: Autores

3.2. Etapa de diseño y dimensiones de la estructura

3.2.1. Determinación del centro de gravedad

Se determina el centro de gravedad con respecto a los ejes ubicando la estructura en posición horizontal. Para ello se establece el peso total del vehículo y el peso sobre cada uno de los ejes, luego se aplica momentos y se obtiene las distancias a y b. (CASCAJOSA, 2004 pág. 41)

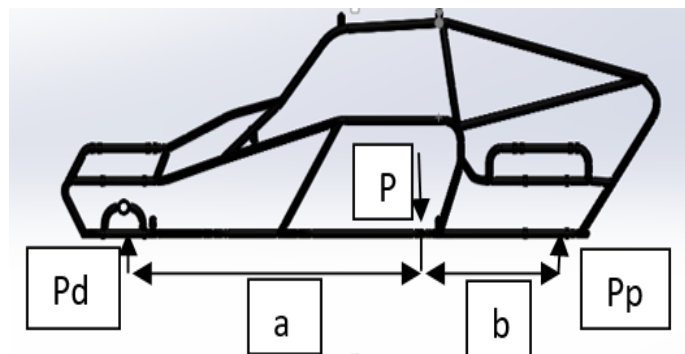


Figura 4-3: Esquema del centro de gravedad de la estructura

Fuente: Autores

$$Pd * (a + b) = P * b$$

$$a + b = L = De$$

$$Pd = P * \frac{b}{L} P_p = P \frac{a}{L}$$

Dónde:

P = Peso del vehículo [Kg]

Pd = Peso del eje delantero [Kg]

Pp = Peso del eje posterior [kg]

A = Distancia entre Pd y P [m]

b = Distancia entre Pp y P [m]

L = Distancia entre ejes [m]

Para calcular la distancia H se toma los pesos de cada uno de los lados y se aplica la ecuación de momentos. Se utiliza como datos los ángulos de inclinación que está entre 15° y 30°. (MORIATIS, 2009)

$$H = \frac{P(Rn(\tan \alpha) + b - Pp(a + b))}{P \tan \alpha}$$

Dónde:

H = Altura

α = Ángulo de inclinación de la carrocería

Rn = Radio del neumático [0,356m]

3.2.2. Distribución de pesos en posición horizontal

La distribución de cargas ideal:

Parte delantera 40%

Parte posterior 60%

Peso total del vehículo con ocupantes (633 kg)

Peso aplicado en el eje delantero (Pd = 70 kg)

Peso aplicado en el eje posterior (Pp = 180kg)

3.2.3. Posición longitudinal de la gravedad

Se obtiene los valores a y b respectivamente.

$$L = a + b = 2,4m$$

$$b = \frac{P_d * L}{P}$$

$$b = \frac{70kg * 2,4m}{633kg}$$

$$b = 0,618m$$

$$a = \frac{P_p * L}{P}$$

$$a = \frac{180kg * 2,4m}{633kg}$$

$$a = 1,78m$$

3.2.4. Altura del centro de gravedad

Para el cálculo de la altura del centro de gravedad se toma en cuenta un ángulo de 30° que pertenece a la pendiente.

$$H = \frac{P(Rn(\tan \alpha) + b - Pp(a + b))}{P \tan \alpha}$$

$$H = \frac{633Kg(0,356(\tan 30^\circ) + 0,618m - 180kg(1,78m + 0,618m))}{633kg \tan 30^\circ}$$

$$H = 0,82m$$

Los valores que se obtiene del centro de gravedad son:

Tabla 13-3: Valores del centro de gravedad

Valores de ubicación del centro de gravedad	
X	1,78m
Y	0,618m
Z	0,82m

Fuente: Autores

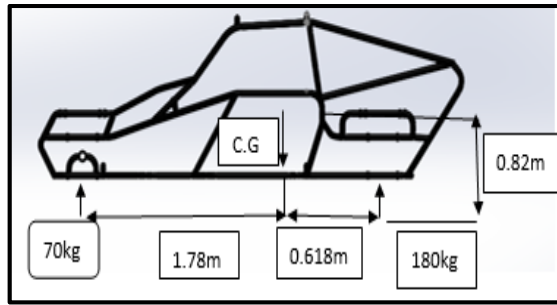


Figura 5-3: Ubicación del centro de gravedad

Fuente: Autores

3.2.5. *Relación peso potencia*

Para el diseño del chasis se calcula la relación dividiendo el peso en kg para la potencia máxima en CV de acuerdo a la fórmula 13.

$$Rpp = \frac{p}{pot}$$

$$Rpp = \frac{485kg}{125 CV}$$

$$Rpp = 3,88 \frac{Kg}{CV}$$

Este valor indica que la relación peso - potencia es muy buena en ciertos parámetros de aceleración y velocidad máxima en los rangos existentes para los vehículos 4x4.

3.3. **Determinación de cargas verticales de diseño**

- **Cargas permanente (Pe).**- Se aplica la fórmula 2

$$Pe = \sum (\text{peso del elemento} * \text{numero de elementos})$$

$$Pe = 485 \text{ kg}$$

- **Cargas de seguridad (Cs).**- Se debe conocer el área total del habitáculo de carga (Ah) del chasis presentado, en este caso es biplaza (2 ocupantes), para lo cual se aplica la fórmula 3.

$$Ah = l * l$$

$$Ah = 1,3m * 1,1m$$

$$Ah = 1,43m^2$$

Por lo normal esta carga es de 20 kg por cada m², entonces tenemos la fórmula 4:

$$C_s = 20 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * A_h$$

$$C_s = 20 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 1,43\text{m}^2$$

$$C_s = 28,6 \text{ Kg}$$

- **Carga muerta (Cm).**- Se aplica la fórmula 5

$$C_m = P_e + C_s$$

$$C_m = 485\text{kg} + 28,6 \text{ kg}$$

$$C_m = 513,6 \text{ kg}$$

- **Carga viva (CVi).**- Es la sobrecarga de un 10% que se le aumenta, en este caso es la carga del piloto más el acompañante, se aplica la fórmula 6.

$$CV_i = \text{Peso ocupantes} + (\text{peso ocupantes} * 0,1)$$

$$CV_i = 140\text{kg} + (140\text{Kg} * 0,1)$$

$$CV_i = 154\text{Kg}$$

- **Carga de viento (cf).**- La resistencia aerodinámica del vehículo se obtiene mediante la fórmula 7:

$$R_a = cf = \frac{1}{2} (C_x * \delta * A * V^2)$$

$$R_a = cf = \frac{1}{2} (0,3 * 1,2\text{Kg}/\text{m}^2 * 1,92\text{m}^2 * 16,66^2\text{m/s})$$

$$R_a = cf = 95,92 \text{ N} = 9,7 \text{ Kg}$$

- **Carga sísmica (Ch).**- Sumatoria de las cargas vivas, del viento y seguridad de acuerdo a la fórmula 8.

$$C_h = CV_i + C_f + C_s$$

$$C_h = 154 \text{ kg} + 9,7\text{kg} + 28,6 \text{ kg}$$

$$C_h = 192,3 \text{ kg}$$

- **Carga de diseño (Wd).**- Este tipo de carga es para el análisis matemático y se aplica la fórmula 1.

$$Wd = Cm + Ch$$

$$Wd = 513,6 \text{ kg} + 192,3 \text{ kg}$$

$$Wd = 705,9 \text{ kg}$$

- **Diseño del chasis y selección de tubos.-** Estructura con todos los elementos principales a analizarse.

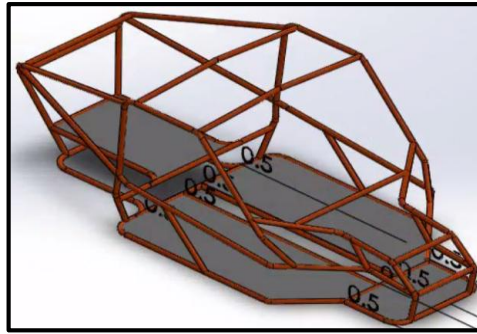


Figura 6-3: Elementos principales de la estructura

Fuente: Autores

El chasis se diseña en un tubo de sección circular de 1,5 in de diámetro por 2 mm de espesor, se analiza como una viga apoyada donde las cargas sobre el chasis (pesos de los motores, componentes, ocupantes y el peso propio de la estructura), se consideran como una carga vertical distribuida y se aplica la fórmula del peso.

$$w = \frac{wd}{l}$$

$$w = \frac{6917,8N}{2,4m}$$

$$w = 2882,4 \frac{N}{m}$$

El chasis consta de dos vigas apoyadas que se divide para la mitad y se procede analizar fácilmente una sola viga $W1 = 1441,2 \frac{N}{m}$; se determina el diagrama de fuerzas cortantes así como el diagrama de momentos.

- **Determinación del esfuerzo máximo de la viga**

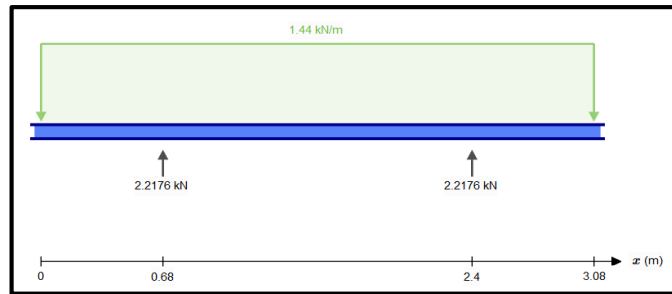


Figura 7-3: Diagrama de cuerpo libre

Fuente: Autores

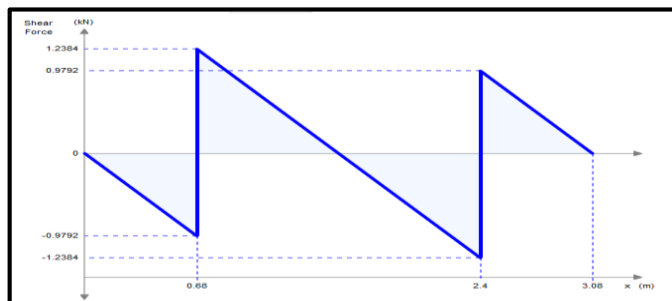


Figura 8-3: Diagrama de fuerzas cortantes

Fuente: Autores

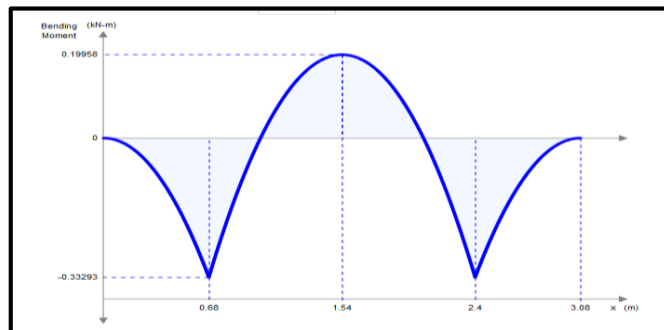


Figura 9-3: Diagrama de Momento

Fuente: Autores

Características del material Acero Estructural al Carbono ASTM A 500 grado B (tabla 2-2):

Límite de Tensión = 400MPa

Límite Elástico = 290 MPa

Límite de Fluencia (S_y) = 315 MPa

La seguridad en un elemento muy importante, de acuerdo a bibliografías el factor tiene que ser mayor o igual a 1; mientras más alto sea más seguro es el diseño (1 a 10). Para que cumpla el diseño del prototipo actual se usa un factor de seguridad $\eta = 3$, con esto se calcula el esfuerzo máximo que soporta el material (Esfuerzos de trabajo, 2017)

$$\sigma_{max} = \frac{Sy}{\eta}$$

$$\sigma_{max} = \frac{315MPa}{3}$$

$$\sigma_{max} = 105MPa$$

- **Determinación de la sección de inercia del material**

$$S_{xx} \geq \frac{M_{max}}{\sigma_{max}}$$

$$S_{xx} = \frac{0,199 KNm}{105MPa}$$

$$S_{xx} = 1,89 cm^3$$

- **Determinación del factor de seguridad**

De acuerdo al catálogo DIPAC, se selecciona un perfil estructural adecuado que tenga un valor superior al calculado. Siendo este un tubo circular de 1 ½ in x 2 mm o $S_{xx} = 1.94 cm^3$ (CATALOGO DE ACERO, 2016)

$$\sigma_{max} = \frac{0,199 KNm}{1,94 \times 10^{-6} m^3}$$

$$\sigma_{max} = 102,6MPa$$

Despejando el factor de seguridad η tenemos:

$$\sigma_{max} = \frac{Sy}{\eta}$$

$$\eta = \frac{Sy}{\sigma_{max}}$$

$$\eta = \frac{315MPa}{102,6MPa}$$

$$\eta = 3$$

El valor obtenido del factor seguridad $\eta = 3$ y en el software de diseño Solidworks $\eta = 2,7$; estos 2 valores coinciden por lo tanto se determina que el perfil seleccionado es el adecuado para soportar el esfuerzo al que está sometido.

3.4. Selección de tubos de los travesaños

En la estructura se debe tomar en cuenta la carga puntual más crítica, en este caso es el peso de los ocupantes, más el peso aproximado de los asientos. Este peso se divide para 4 debido que son 2 travesaños y 2 asientos, la longitud aproximada de los travesaños es 1310.14 mm (CATALOGO DE ACERO, 2016)

- Carga de ocupantes = 140 kg
- Carga de asientos + cinturones (aproximado) = 24 kg
- Carga total = 164 kg (1607,2 N)
- Carga en cada punto $P1 = P2 = 1607.2 \text{ N}/4 = 401,8 \text{ N}$
- Se determina el diagrama de fuerzas cortantes (Figura 38-3) y el diagrama de momentos (Figura 39-3)

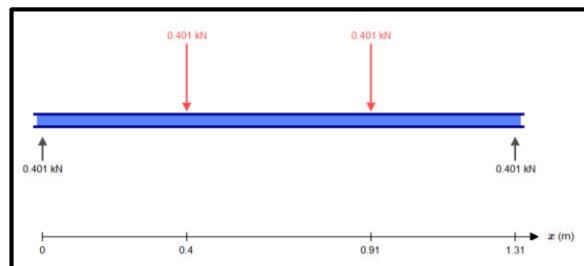


Figura 10-3: Diagrama de cuerpo libre

Fuente: Autores

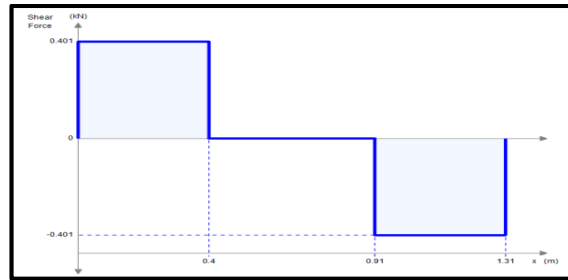


Figura 11-3: Diagrama de fuerzas cortantes

Fuente: Autores

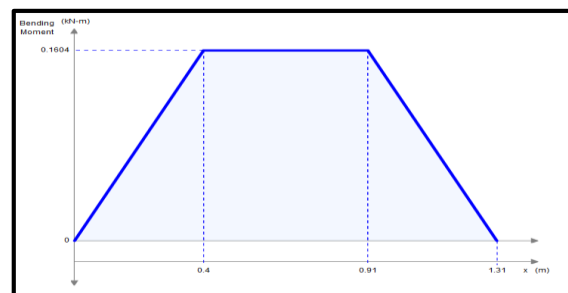


Figura 12-3: Diagrama de Momento (KN-m) Travesaños

Fuente: Autores

El material a utilizar es el acero al carbono estructural ASTM A500 Grado B. Se utiliza un factor de seguridad aproximado $\eta = 3$, se determina el esfuerzo máximo a soportar para encontrar el perfil adecuado, se aplica la ecuación 20. (CATALOGO DE ACERO, 2016)

- Límite de Tensión = 400MPa
- Límite Elástico = 290 MPa
- Límite de Fluencia (S_y) = 315 MPa

$$\sigma_{max} = \frac{S_y}{\eta}$$

$$\sigma_{max} = \frac{315MPa}{3}$$

$$\sigma_{max} = 105 MPa$$

Se calcula la sección de inercia del material tubular utilizando la ecuación 21.

$$S_{xx} \geq \frac{M_{max}}{\sigma_{max}}$$

$$S_{xx} = \frac{160,4 Nm}{105 MPa}$$

$$S_{xx} = 1,52 cm^3$$

Utilizando un catálogo de perfilería (DIPAC), se selecciona un perfil estructural superior al obtenido, siendo un tubo redondo 1 ½ x 2 mm con $S_{xx} = 1,94 cm^3$:

$$\sigma_{max} = \frac{160.4 Nm}{1,94 \times 10^{-6} m^3}$$

$$\sigma_{max} = 82,68 MPa$$

Despejando el factor de seguridad de la ecuación 20:

$$\eta = \frac{Sy}{\sigma_{max}}$$

$$\eta = \frac{315 MPa}{82,68 MPa}$$

$$\eta = 3,8$$

Una vez obtenido el factor de seguridad se determina, el perfil seleccionado es el adecuado para soportar los esfuerzos a los que está sometido.

3.5. Selección de tubos de arco de seguridad antivuelco

La estructura está sometida a varios esfuerzos por esta razón se analiza el tubo y el material adecuado para soportar las cargas en el arco antivuelco.

3.5.1. Diseño de arco principal

Mediante este método se calcula la fuerza, momento y cortante en diferentes puntos del arco, se considera la carga de diseño $Wd = 705,9 Kg$.

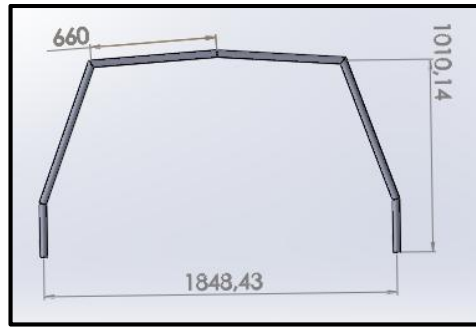


Figura 13-3: Dimensiones del arco principal.

Fuente: Autores

Se calcula las cargas y los momentos por lo que se requiere los valores de ciertas constantes que se detallan a continuación. (VALERIAN, 1961 pág. 223)

Relación entre distancia y altura de arco-columnas:

$$\phi = \frac{I_C * L}{I_A * h}$$

$$\phi = \frac{L}{h}$$

$$\phi = \frac{1,848}{1,01}$$

$$\phi = 1,83$$

Relación de alturas arco- columnas:

$$\psi = \frac{f}{h}$$

$$\psi = \frac{0,101}{1,01}$$

$$\psi = 0.1$$

Constante que modifica la curvatura del arco principal:

$$A = \frac{1,5 - (\phi * \psi)}{1 + 0,8(\phi * \psi)^2}$$

$$A = \frac{1,5 - (1,83 * 0,1)}{1 + 0,8(1,83 * 0,1)^2}$$

$$A = 1,28$$

Constante que modifica la altura del arco principal:

$$C = \frac{3 + 1,5(\phi)}{1 + 0,8(\phi\psi)^2}$$

$$C = \frac{3 + 1,5(1,83)}{1 + 0,8(1,83 * 0,1)^2}$$

$$C = 5,59$$

Factor de modificación de altura y luz del arco:

$$F = 12(2 + \phi) - 4A(3 - \phi\psi)$$

$$F = 12(2 + 1,83) - 4(1,28)(3 - 1,83 * 0,1)$$

$$F = 45,96 - 14,42$$

$$F = 31,54$$

3.6. Momentos en los puntos principales del arco

Para calcular los momentos en los diferentes puntos del arco se utiliza las constantes anteriormente calculadas. (VALERIAN, 1961 pág. 232)

Momento flector en los puntos principales del arco:

$$M2 = M4 = \frac{Fv_{arco} * L\phi}{4F} (6 - 5A\psi)$$

$$M2 = M4 = \frac{6917,8N * 1,848m * 1,83}{4 * 31,54} [6 - (5 * 1,28 * 0,1)]$$

$$M2 = M4 = 993,95Nm$$

Se calcula la cortante:

$$HI = H5 = \frac{Fv_{arco} * L\phi}{4Fh} (6 + 5C\psi)$$

$$HI = H5 = \frac{6917,8N * 1,848m * 1,83}{4 * 31,54 * 1,01} [6 + (5 * 5,58 * 0,1)]$$

$$H1 = H5 = 1613,86N$$

Se calcula el momento flector:

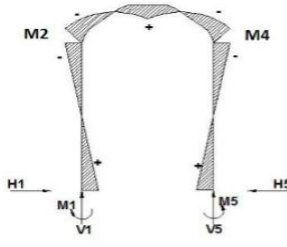
$$M1 = M5 = -M2 + H1(h)$$

$$M1 = M5 = -993,95Nm + 1613,86N(1,01m)$$

$$M1 = M5 = 636,05Nm$$

Valores de los momentos flectores generados en los diferentes puntos del arco.

Tabla 14-3: Valores de los puntos del arco

Momento Flector generado en el arco			
Carga vertical Fv = 6917,8N			
PUNTOS	H(N)	M(N.m)	
1	1613,86	636,05	
2		993,95	
4		993,95	
5	1613,86	636,05	

Fuente: Autores

Imponiendo un factor de seguridad $\eta = 3$ se encontrara el momento máximo al que se estará sometiendo.

$$\sigma_{max} = \frac{Sy}{\eta}$$

$$\sigma_{max} = \frac{315Mpa}{3}$$

$$\sigma_{max} = 105Mpa$$

Cálculo de la sección de inercia del material tubular.

$$S_{xx} \geq \frac{Mmax}{\sigma_{max}}$$

$$S_{xx} = \frac{993.95 Nm}{105MPa}$$

$$S_{xx} = 3,5 cm^3$$

Se escogerá una sección de tubo redondo según el catálogo de perfilería DIPAC de 1 1/2in de diámetro por 2mm de espesor y $S_{xx} = 1,95 \text{ cm}^3$. En este caso se utiliza un material de menor sección al requerido debido a que el próximo material varía demasiado su sección, peso y tamaño en comparación al material empleado en la estructura. (CATALOGO DE ACERO, 2016).

$$\sigma_{max} = \frac{993,95 \text{ Nm}}{1,95 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$\sigma_{max} = 509,72 \text{ Mpa}$$

Por lo tanto despejando el factor de seguridad quedaría:

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma_{max}}$$

$$\eta = \frac{315 \text{ Mpa}}{509,7 \text{ Mpa}}$$

$$\eta = 0,6$$

- **Determinación de las cargas de impacto**

Tabla 15-3: Valores de cargas de impacto

DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS DE IMPACTO	
Peso propio estimado de la estructura	90 Kg
Carga muerta total	513,6 Kg
Carga viva total	154 kg
TOTAL	757,6 kg

Fuente: Autores

- **Cargas de impacto superior.-** De acuerdo al reglamento FAU la aceleración que tiene un vehículo al producirse un choque en la parte superior del vehículo es igual a dos gravedades, por lo tanto:

$$a = 2g$$

$$\text{Nodos} = 9$$

$$F = m * a$$

$$F = 757,6kg * 2(9,8 \frac{m}{s^2})$$

$$F = 14848,9N$$

La fuerza aplicada en cada nodo es:

$$\frac{F}{9} = \frac{14848,9N}{9} = 1649,9 N$$

- **Cargas de impacto lateral.-** Basándose en el reglamento FAU en una colisión lateral la norma indica un factor de aceleración de 4g.

Por lo tanto:

$$a = 4g$$

$$\text{Nodos} = 12$$

$$F = m * a$$

$$F = 757,6kg * 4(9,8 \frac{m}{s^2})$$

$$F = 29697,9N$$

La fuerza aplicada en cada nodo es:

$$\frac{F}{12} = \frac{29697,9N}{12} = 2474,9 N$$

- **Carga de impacto frontal.-** Basándonos en la reglamentación FAU el factor de aceleración en un choque frontal es de 8 veces el peso del auto es decir 8g por lo tanto:

$$a = 8g$$

$$\text{Nodos: } 8$$

$$F = m * a$$

$$F = 757,6kg * 8(9,8 \frac{m}{s^2})$$

$$F = 59395,8N$$

La fuerza aplicada en cada nodo es:

$$\frac{F}{12} = \frac{59395,8N}{8} = 7424,5N$$

- **Fuerza de aceleración.-** De acuerdo a la norma INEN 1323 la aceleración del vehículo debe de ser de $4 \frac{m}{s^2}$, por lo tanto:

$$a = 4 \frac{m}{s^2}$$

Nodos: 184

$$Ab = m * a$$

$$Ab = 757,6kg * 4 \frac{m}{s^2}$$

$$Ab = 3030,4N$$

La fuerza aplicada en cada nodo es:

$$\frac{Ab}{184} = \frac{3030,4N}{184} = 16,46N$$

3.7. Dimensiones de la estructura en CAD

A continuación se detalla el diseño geométrico con la ayuda del software Solidworks seleccionando las medidas reales en planos.

3.7.1. Croquis en plano 2D

Se realiza un esquema de la estructura de la base del chasis con sus respectivas medidas utilizando las herramientas básicas del software Solidworks.

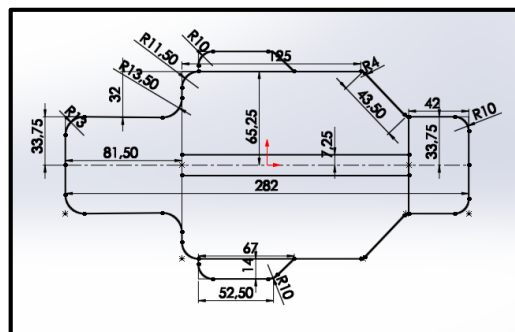


Figura 14-3: Croquis en 2D

Fuente: Autores

3.7.2. Croquis en planos 3D

En esta fase se detalla todos los elementos restantes del chasis en 3 planos de referencia, formando así el habitáculo y los refuerzos con sus respectivas medidas.

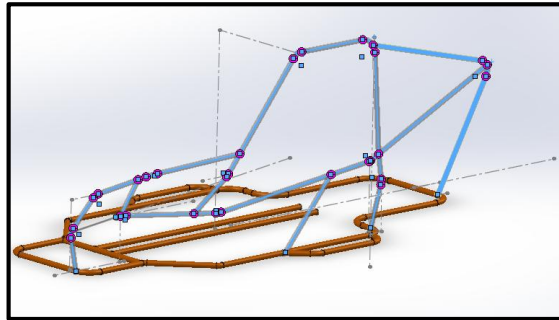


Figura 15-3: Croquis en 3D

Fuente: Autores

3.7.3. *Determinación de miembros estructurales*

Esta etapa consiste en seleccionar el perfil estructural adecuado para cada miembro del chasis, tomando en cuenta las dimensiones, espesores, peso y propiedades mecánicas.

Luego de este proceso se obtendrá la estructura tubular terminada en 3 dimensiones, dando como resultados el modelo final para el respectivo análisis.

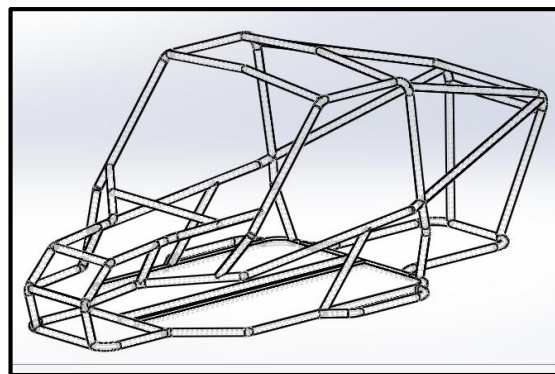


Figura 16-3: Estructura tubular en 3D

Fuente: Autores

Peso estimado de la estructura de acuerdo al software CAD es de 242,62 Kg.

3.8. Estructura del chasis

Hay una serie de factores que cumplir con la estructura tubular para tomar en cuenta las cargas dinámicas al momento de impactos y según el reglamento de Buggies de competición es:

- 2 veces su peso lateralmente (2P)

- 6 veces su peso longitudinalmente en ambos sentidos (6P)
- 8 veces su peso verticalmente (8P)

El chasis no será participe de ninguna competición, de manera que el vehículo no debe presentar exceso de refuerzos que sería un factor negativo para el peso de la estructura y las cargas que se consideran son las siguientes:

- Peso total del vehículo más conductor y acompañante promedio (P) = 633 Kg
- 1,5 veces su peso lateralmente (1,5P) = 949,5 Kg (9314 N)
- 3 veces su peso longitudinalmente (3P) = 1899 Kg (18629 N)
- 4 veces su peso verticalmente (4P) = 2520 Kg (24721 N)

3.9. Simulación ANSYS

3.9.1. *Análisis estático*

Mediante el análisis estático se realiza la simulación del comportamiento del chasis sometido a cargas estáticas, determinando así el factor de seguridad y las deformaciones máximas.

Después de haber terminado el diseño en CAD, se procede analizar con el software CAE utilizando la herramienta de análisis estructural para realizar un mallado y someter a una inspección total.

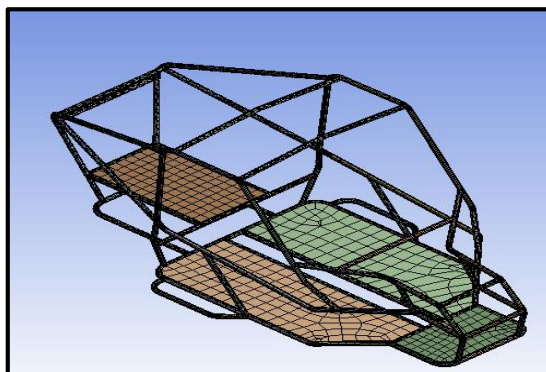


Figura 17-3: Mallado de la estructura tubular del buggy

Fuente: Autores

3.9.2. *Análisis de la estructura y base del motor*

Se determina la deformación total que sufre la base del motor y puntos específicos de la estructura, una vez aplicada las siguientes fuerzas:

- **Fuerza en el punto A.** Se emplea la constante de la gravedad de 9.8 N aplicado en el centro del chasis, en los puntos:

$X=0$

$Y= -9,8 \text{ m/s}^2$

$Z=0.$

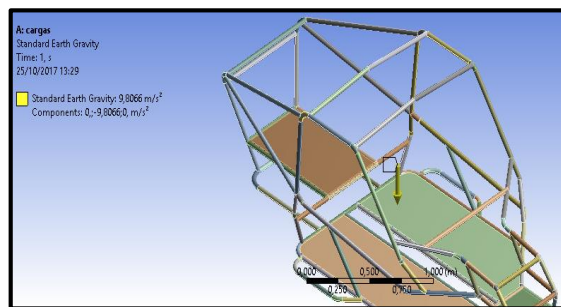


Figura 18-3: Fuerza al centro de gravedad

Fuente: Autores

- **Fuerza en el punto B.** Se aplican fuerzas verticales a la base de los motores eléctricos, en los puntos:

$X=0$

$Y= -686,47 \text{ N}$

$Z=0$

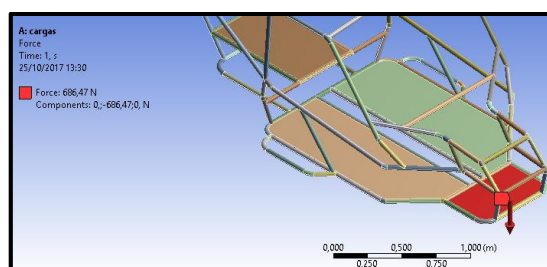


Figura 19-3: Fuerza en la base de motores eléctricos

Fuente: Autores

- **Fuerza en el punto C.** Sobre la base del motor de combustión interna se aplica la fuerza en los puntos:

$X=0$

$Y= -1765,2 \text{ N}$

$$Z=0$$

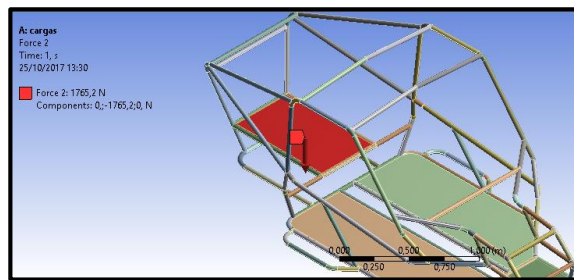


Figura 20-3: Fuerza en la base del MCI

Fuente: Autores

- **Fuerza en el punto D.** Se aplica dos fuerzas verticales en la base de los asientos, hay que recordar el chasis es biplaza y se aplica en los puntos:

$$X=0$$

$$Y= -823,76 \text{ N}$$

$$Z=0$$

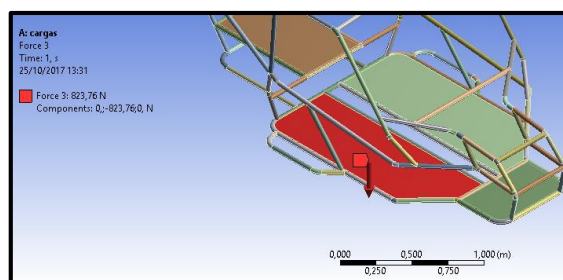


Figura 21-3: Fuerza en la base del asiento derecho

Fuente: Autores

$$X=0$$

$$Y=-823,76 \text{ N}$$

$$Z=0$$

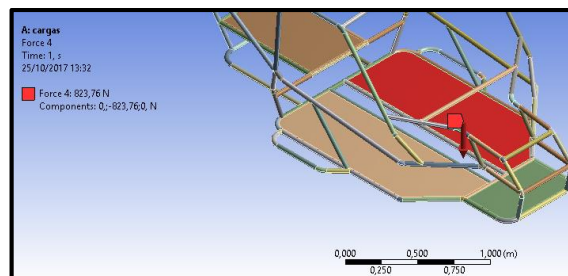


Figura 22-3: Fuerza en la base del asiento izquierdo

Fuente: Autores

Realizando el análisis respectivo se obtiene un resultado de 0,00043581 m, lo cual indica que la deformación de la estructura es mínima, a razón que el material seleccionado para el chasis es el adecuado.

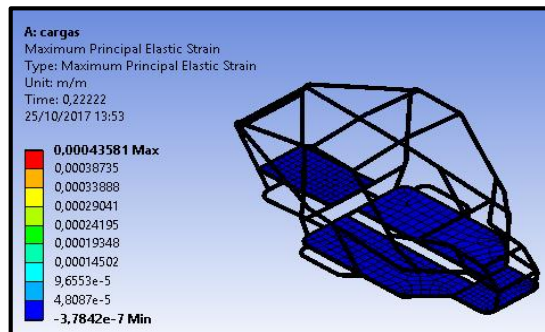


Figura 23-3: Deformación con fuerzas verticales

Fuente: Autores

3.9.3. *Análisis axial*

Se proporciona el análisis en el eje Y, a razón de las cargas aplicadas son verticales y distribuidas. En cambio en el eje X no tenemos presencia de fuerzas durante el análisis estático.

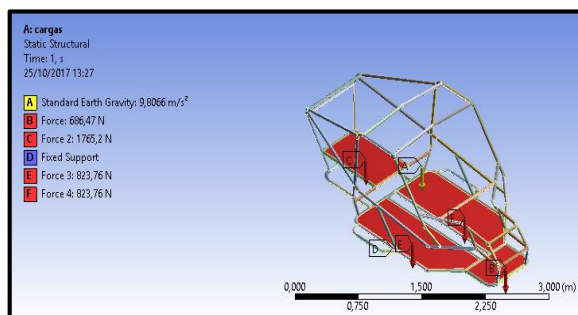


Figura 24-3: Fuerzas distribuidas en el chasis

Fuente: Autores

Después de realizar el análisis se obtiene la deformación de 0,0013845 m, el valor es despreciable.

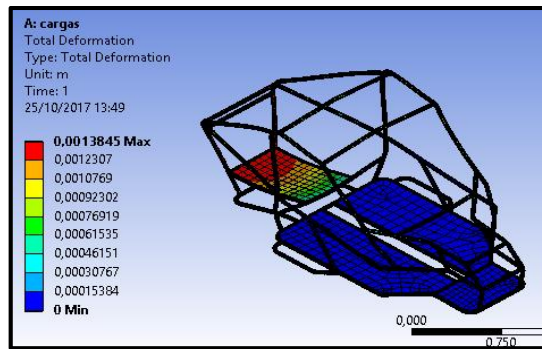


Figura 25-3: Fuerzas distribuidas aplicadas a la estructura

Fuente: Autores

3.9.4. *Factor de seguridad*

Un chasis eficiente es cuando la resistencia de la estructura sea mayor que la resistencia requerida, esto se conoce como factor de seguridad, según la teoría citada anteriormente el factor de seguridad debe ser mayor que 1.0 para evitar fallas. El resultado es un factor de seguridad de 2,62 reflejando que la estructura está en el rango establecido para resistir.

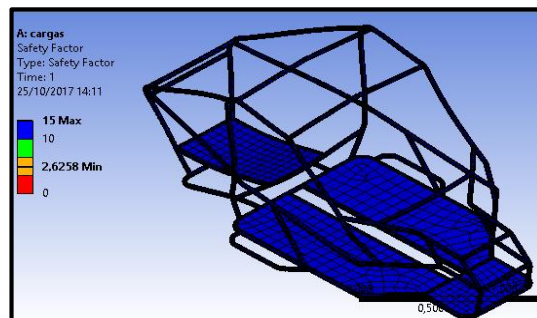


Figura 26-3: Factor de seguridad axial

Fuente: Autores

Tabla 16-3: Valores de resultados

Análisis Estático	
Deformación total	0,0013845 m
Factor de seguridad	2.62

Fuente: Autores

3.9.5. Análisis dinámico

Después de haber determinado el análisis estático se puede definir que el factor de seguridad es confiable; se procede a realizar el análisis dinámico del chasis, donde se determina la deformación y el esfuerzo máximo al momento del impacto.

En el Software Ansys se realiza la simulación de impactos a 60 km/h y 80 km/h promedio de un buggy.

3.9.6. Análisis de impacto a 60km/h

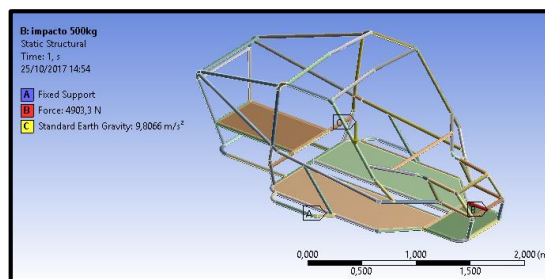


Figura 27-3: Carga de impacto a 500 kg

Fuente: Autores

Posterior a esto se obtiene una deformación de 0,0015297 m, que indica que el material para la construcción está bien elegido.

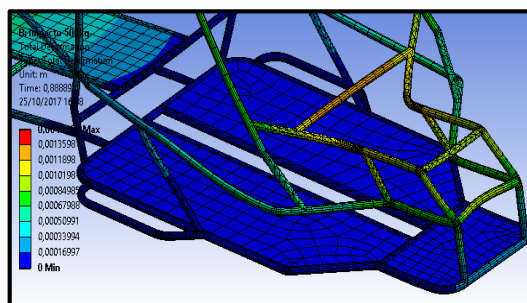


Figura 28-3: Deformación frontal del chasis

Fuente: Autores

Luego del análisis se obtiene el factor de seguridad de 1,1642 siendo confiable y aceptable al momento de un impacto.

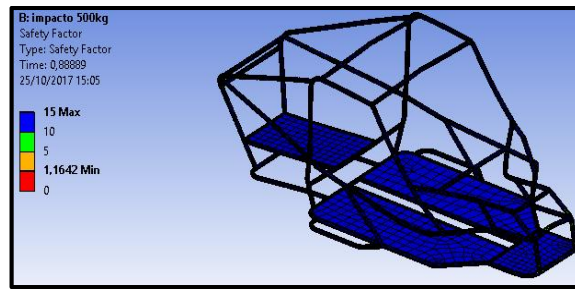


Figura 29-3: Factor de seguridad dinámico

Fuente: Autores

3.9.7. *Análisis de impacto a 80 km/h*

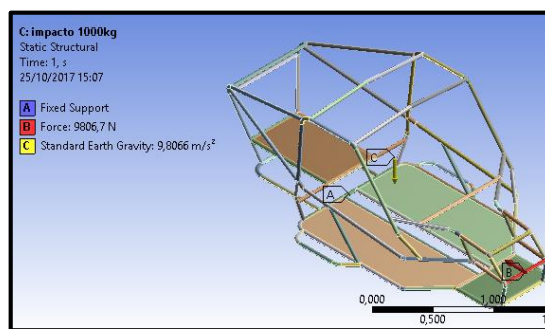


Figura 30-3: Fuerza de impacto a 1000 kg

Fuente: Autores

Una vez realizada los procedimientos respectivos se obtiene que la deformación total máxima sea de 0,0031704 m.

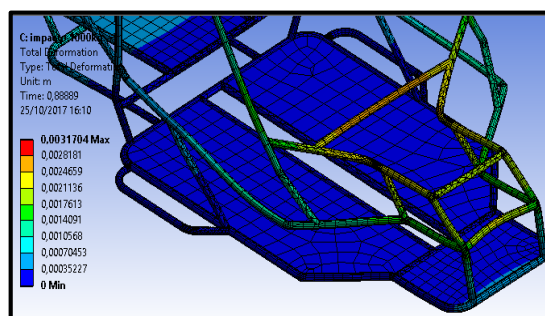


Figura 31-3: Deformación máxima del chasis

Fuente: Autores

El resultado es un factor de seguridad 0,5709 en un impacto.

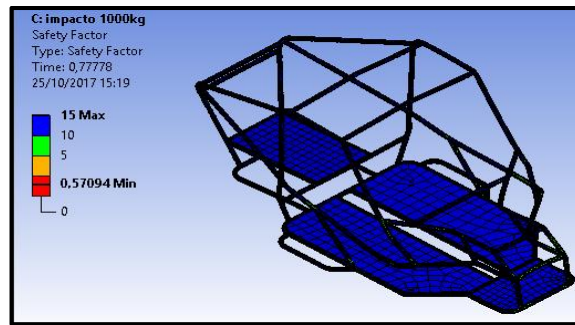


Figura 32-3: Factor de seguridad de impacto

Fuente: Autores

Tabla 17-3: Comparación de la deformación

Análisis dinámico	500 kg – 60 km/h	1000 kg – 80 km/h
Deformación máxima	0,0015297 m	0,0031704 m

Fuente: Autores

Se puede concluir que en los dos casos la deformación es mínima pero con resultados diferentes, esto da un grado de seguridad al chasis y a los ocupantes.

Tabla 18-3: Comparación del factor de seguridad

Análisis dinámico	500 kg – 60 km/h	1000 kg – 80 km/h
Factor de seguridad	1,1642	0,5709

Fuente: Autores

Los resultados obtenidos son diferentes ya que ambos tienen un nivel de seguridad mínimo. Además la resistencia real de una estructura debe ser mayor que la resistencia requerida; a más de esto las cargas que un chasis es capaz de soportar debe ser mayor a las cargas que va ser sometido.

3.9.8. *Análisis de vuelco*

A continuación se realiza el análisis de vuelco que determina la deformación, se aplica 4 fuerzas en: la parte frontal, posterior, lateral y vertical del chasis.

- **Fuerza B.** Se aplica a la parte frontal del chasis en los puntos:

$X=-9806,7 \text{ N}$

$Y=0$

$Z=0$

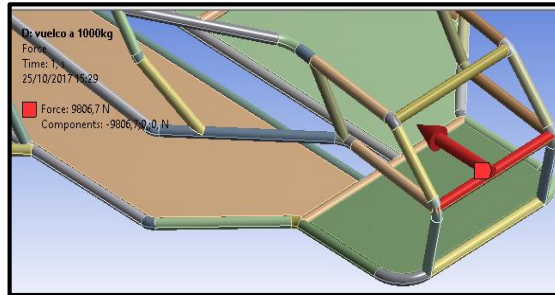


Figura 33-3: Carga frontal de vuelco

Fuente: Autores

- **Fuerza C.** Esta aplicada a la parte lateral del chasis en los puntos:

$X=0$

$Y=0$

$Z= 9806,7$

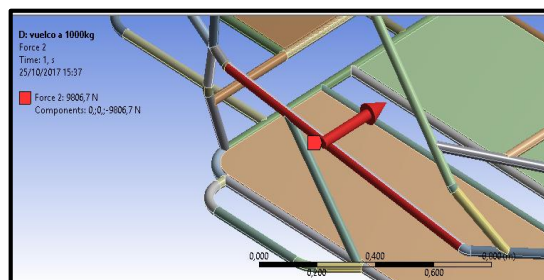


Figura 34-3: Carga lateral de vuelco

Fuente: Autores

- **Fuerza D.** Esta aplicada en el arco antivuelco en los puntos:

$X=0$

$Y=-4903,3 \text{ n}$

$Z=4903,7 \text{ N}$

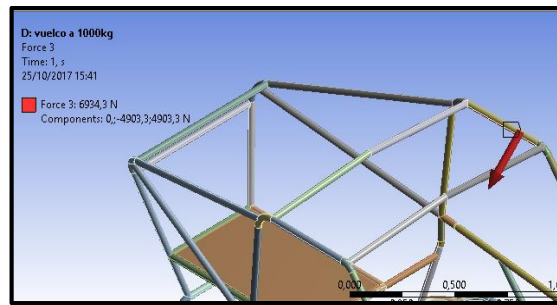


Figura 35-3: Carga en la barra antivuelco

Fuente: Autores

- **Fuerza E.** Esta aplicada en la parte posterior del chasis en los puntos:

$X=4903,3$

$Y=-4003,3$ N

$Z=0$ coordenadas

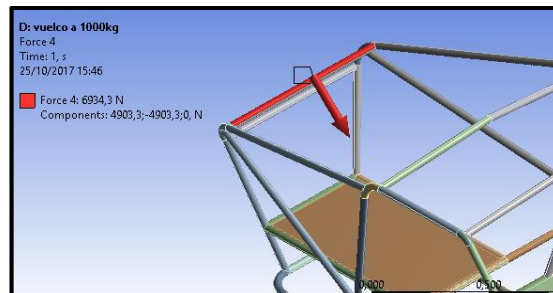


Figura 36-3: Carga posterior de vuelco

Fuente: Autores

Una vez aplicado las cargas en las diferentes partes del chasis se procede a realizar el análisis respectivo en toda la estructura, dando como resultado una deformación de 0,009876 m.

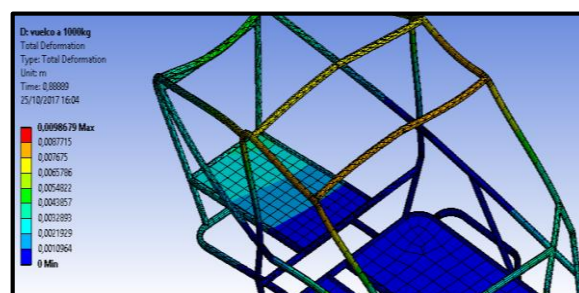


Figura 37-3: Deformación de vuelco del chasis

Fuente: Autores

El resultado del factor de seguridad es de 0,359

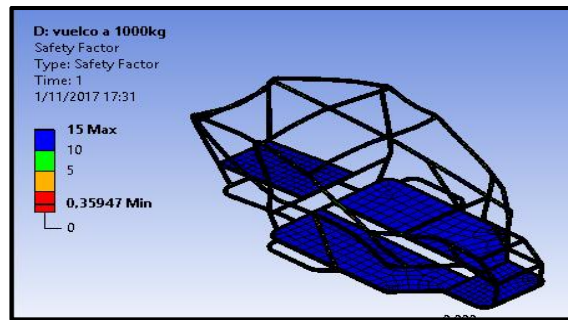


Figura 38-3: Factor de seguridad del vuelco

Fuente: Autores

Tabla 19-3: Deformación total del análisis de vuelco

Análisis de vuelco	Deformación
	0,009876 m

Fuente: Autores

En conclusión el análisis de vuelco del chasis determina una deformación máxima por el tipo del material elegido.

Tabla 20-3: Factor de seguridad total del vuelco

Análisis de vuelco	Factor de seguridad
	0,359

Fuente: Autores

Según este resultado se concluye que hay un factor de seguridad menor a 1, razón a que es un análisis dinámico de vuelco.

3.9.9. *Análisis de vibraciones*

Después de una serie de pasos se procede al análisis siguiente, el chasis va estar sometida siempre a vibraciones por sus características de desempeño, dando un resultado de 0,0004799 m.

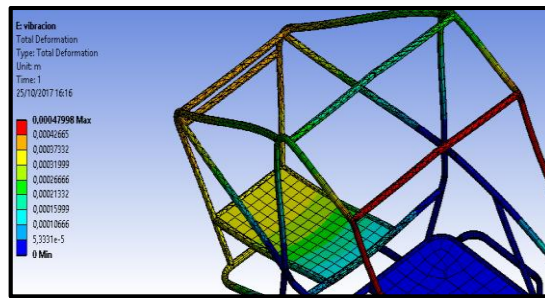


Figura 39-3: Análisis de vibraciones del chasis

Fuente: Autores

A continuación se obtiene el esfuerzo máximo de 2352,2 N; es el valor máximo al momento de estar en vibraciones.

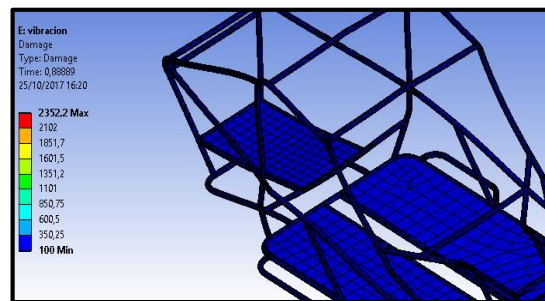


Figura 40-3: Esfuerzo máximo en vibraciones

Fuente: Autores

El resultado del factor de seguridad es de 0,49 en el análisis de vibraciones.

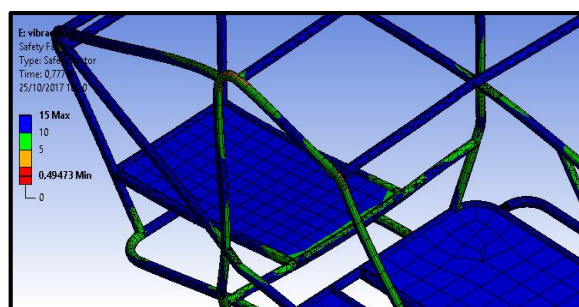


Figura 41-3: Esfuerzo máximo en vibraciones

Fuente: Autores

Tabla 21-3: Resultado total del análisis de vibraciones

Análisis de vibraciones	Deformación	Esfuerzo Máximo	Factor de Seguridad
	0,0004799 m	2352,2 N	0,49

Fuente: Autores

En conclusión se determina la deformación a la que está sometida el chasis, además se obtiene un esfuerzo máximo en Newton y por ultimo un factor de seguridad que garantiza que el material elegido soportará las vibraciones durante la vida útil del chasis.

CAPÍTULO IV

4. CONSTRUCCIÓN DEL CHASIS

4.1. Pruebas del material

Las pruebas del material se efectuaron con el fin, de determinar las propiedades físicas y mecánicas, características esenciales para la construcción del chasis. En esta prueba se realizaron ensayos destructivos de tracción y flexión. El material fue sometido a deformación permanente a diferentes esfuerzos para conocer su resistencia.

Dentro de los ensayos destructivos, hay ciertas ventajas del material y se detalla a continuación:

- Se reconoce todas las propiedades mecánicas del material de la unión adhesiva de forma más clara.
- Los equipos utilizados en el ensayo destructivo son más económicos frente a los equipos de los ensayos no destructivos.
- Hay una infinidad de normas para ejecutar estos tipos de ensayos.
- Los costos de la totalidad de las pruebas son económicos

4.2. Ensayo de flexión

El ensayo a la flexión se realizó para observar el comportamiento y la deformación al aplicar una fuerza transversal, esto dependiendo de la longitud y el diámetro para tener clara el tipo de material a utilizar en la construcción del chasis.

Todo ensayo de materiales que se hace en el país está en base a una norma la cual nos da las especificaciones para preparar las probetas; para aplicar el dicho ensayo la CFPM garantizó los resultados siendo un ensayo cuantitativo con el método desarrollado por el laboratorio, lo cual recomienda lo siguiente:

- El tamaño de las probetas al cual debe ser ensayado será de 555 mm cortadas a sierra y se necesita un total de 7 probetas, que se dividirá 5 para el respectivo ensayo y 2 para calibración de la máquina universal.



Figura 1-4: Máquina universal calibrada

Fuente: Autores

Para realizar el respectivo ensayo se utilizó la Máquina Universal de hasta 50 KN Metrotec Serie MTE50 para materiales metálicos que se encuentra en el laboratorio de resistencia de materiales del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero CFPMC de la ciudad de Ambato. Esta máquina es semejante a una prensa con la que se puede medir las propiedades mecánicas que se someten a flexión.

La probeta fue colocada sobre la máquina de manera horizontal a 10 mm sobre los extremos, se colocó los apoyos y en el centro de la probeta se aplica una fuerza de 1500 KN.



Figura 2-4: Probetas ensayadas a flexión

Fuente: Autores

4.2.1. *Análisis de resultados*

Una vez realizado el respectivo ensayo se logró la siguiente tabla con los datos recopilados.

Tabla 1-4: Datos del ensayo de resistencia a flexión

Ítem	Identificación de la probeta	Sección (cm ²)	Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo a flexión (MPa)	Deformación máxima (%)
1	1804158697201704-ETM 01-1	2.27	20250,00	8,741	344,61	1,25
2	1804158697201704-ETM 01-2	2.27	20450,00	7,908	376,63	1,13
3	1804158697201704-ETM 01-3	2.27	20400,00	8,907	375,71	1,27
4	1804158697201704-ETM 01-4	2.27	20000,00	9,253	368,34	1,32
5	1804158697201704-ETM 01-5	2.27	19550,00	7,379	360,06	1,05
Promedio \bar{x}			20130,00	8,44	1065,07	1,21
Desviación estándar S_{n-1}			368.443	0,77	1553,82	0,11
Coeficiente de variación CV			1,83	9,14	145,89	9,14

Fuente: Autores

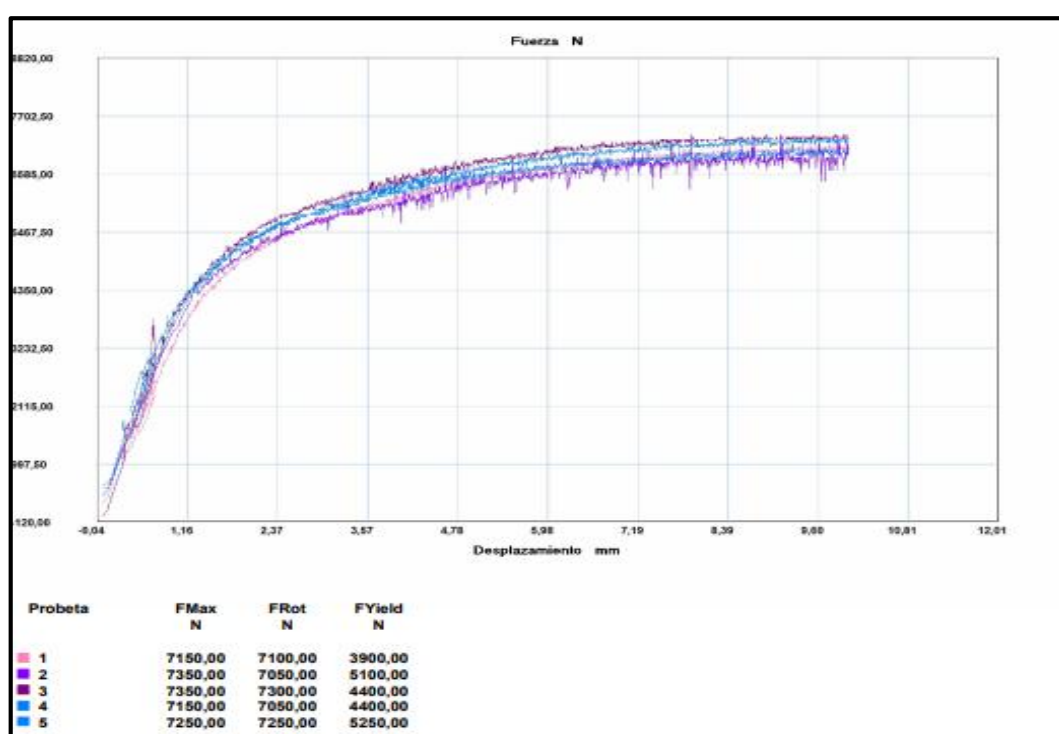


Figura 3-4: Curva esfuerzo deformación de flexión

Fuente: Autores

Cada material tienen características específicas, una vez aplicada la fuerza de 1500 KN, las tensiones del material acero estructural A500 Grado B nunca deben sobrepasar las tensiones máximas de flexión por que puede llegar a la ruptura o a la deformación plástica. Los esfuerzos máximos de las 5 probetas está en rango de 340 a 370 MPa, por tabla la tensión es de 400 MPa, esto indica que está en el rango establecido. Las muestra indica que el acero soportas gran carga midiendo así la resistencia a la flexión.

4.3. Ensayo de tensión de resistencia a la tracción

El ensayo de tensión de resistencia a la tracción es la más utilizada en la construcción de estructuras carroceras, esto permitió verificar, si el material adquirido es el adecuado para realizar la construcción del chasis.

Todo ensayo de materiales que se hace en el país está en base a una norma la cual nos da las especificaciones para preparar las probetas; en este caso para aplicar el dicho ensayo se utiliza la norma ASTM E8 que recomienda la siguiente:

- Para muestras redondas la máquina usará caras ver-serrados o roscados, que depende de la geometría de los extremos.
- El tamaño de las probetas al cual debe ser ensayado está especificado por la norma para lo cual se utilizó el mismo material adquirido en este caso el acero estructural ASTM 500 grado B.

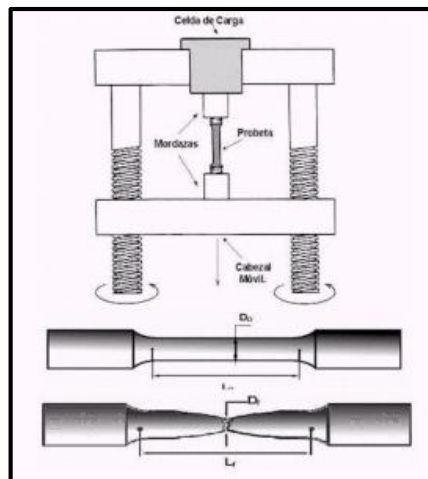


Figura 4-4: Especificación de la probeta de ensayo

Fuente: Norma ASTM E8

Para realizar el respectivo ensayo se utiliza la Máquina Universal de hasta 50 KN Metrotec Serie MTE50 para materiales metálicos que se encuentra en el laboratorio de resistencia de materiales del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero CFPMC de la ciudad de Ambato. Esta máquina es semejante a una prensa con la que se puede medir las propiedades mecánicas que se someten a tracción.

De acuerdo a la norma que se aplicó hay ciertas especificaciones que debe cumplir las probetas a ensayar, las dimensiones y geometría se aprecia en la siguiente figura.

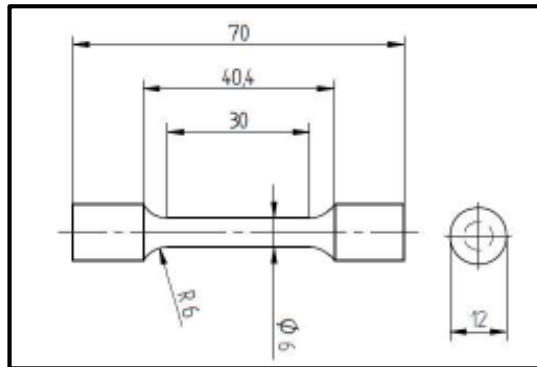


Figura 5-4: Dimensiones de probetas de ensayo

Fuente: Normas ASTM E8

Para el ensayo se utilizó 7 probetas, de los cuales 2 son para calibrar la máquina universal a utilizar. En este caso se realizan el ensayos con 5 probetas para comparación de resultados de cada una de ellas y determinar si existe o no un margen de error mínimo. Cada una de la probetas se colocaron en la máquina universal de forma vertical y según la aplicación de la fuerza sobre la probeta llegó a un límite que empezó a estirarse y romperse. Las dos probetas fueron almacenadas en el laboratorio y las 3 restantes se nos entregó como evidencia. Y se aprecia en la siguiente figura.



Figura 6-4: Probetas a ser ensayado

Fuente: Autores

4.3.1. *Análisis de resultados*

Una vez realizado el respectivo ensayo se puede apreciar la siguiente tabla con los datos recopilados.

Tabla 2-4: Datos del ensayo a la tracción

Ítem	Identificación de la probeta	Dimensiones (mm)		Fuerza de rotura (N)	Fuerza de fluencia (N)	Resistencia de rotura (MPa)	Límite de fluencia (MPa)	Deformación (%)
		ancho	espesor					
1	05032535591829-ETM 01-1	13,5	2.18	11039,9	11371,2	375,12	386,38	30,86
2	05032535591829-ETM 01-2	13,6	2.10	8460,2	10571,3	296,23	370,38	21,82
3	05032535591829-ETM 01-3	13,4	2.24	10082,1	11405,9	312,78	353,85	30,25
4	05032535591829-ETM 01-4	14,4	2.16	11281,3	11587,4	349,99	359,48	22,80
5	05032535591829-ETM 01-5	13,8	2.16	10997,3	11697,8	368,94	392,44	33,92
Promedio \bar{x}				10372,1	11326,7	340,61	372,46	
Desviación estándar S_{n-1}				1162,2	442,893	34,73	16,68	
Coeficiente de variación CV				11,2	3,9	10,2	4,5	

Fuente: Autores

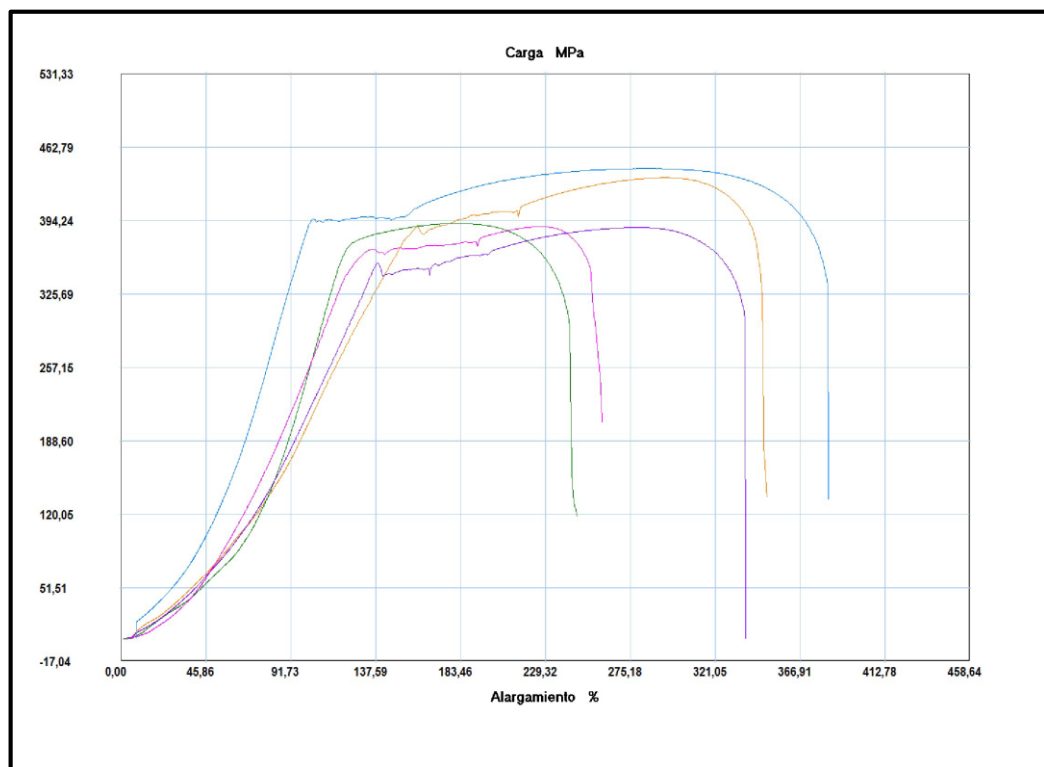


Figura 7-4: Curva esfuerzo deformación de tracción

Fuente: Autores

Mediante una suma se determinó el total de cada una de las muestras y de la columna del porcentaje tomamos el valor total y transportamos al software Ansys para el análisis de deformación.

Tabla 3-4: Muestras tomadas del ensayo

	mm	N	% deformación	s
	----- #1 -----			
1	0,0160	0,000	3,956	0,000
2	0,0230	121,490	3,956	0,044
3	0,0300	127,800	3,956	0,091
4	0,0360	127,800	3,956	0,122
5	0,0430	121,490	3,956	0,169
6	0,0500	118,330	3,956	0,200
7	0,0560	116,760	3,956	0,254
8	0,0630	116,760	3,956	0,288
9	0,0690	118,330	3,956	0,335
10	0,0760	118,330	3,956	0,366
Total	0,0462	108,709	3,956	0,1503

Fuente: Autores

Al estirar se pudo ver cómo reacciona el material antes las fuerzas que se aplica, según los resultados el límite de tracción esta entre 325 a 394 MPa, pasado de esta carga el material pasara a un estado plástico hasta llegar a la ruptura. Como se indicó los resultados no deben sobrepasar los 400 MPa para determinar que el acero es apto para la construcción.

4.4. Construcción del chasis

Después de haber cumplido con todos los parámetros de construcción de acuerdo a la norma INEN 1323, simulación de cargas, análisis estático, análisis dinámico y la fase de pruebas de los materiales sometido a ensayos destructivos se procedió a construir el chasis con tubos redondos circulares de acero estructural ASTM A 500 grado B.

La construcción del chasis se realizó de acuerdo a planos que se visualizan en los anexos.

- **Base del chasis**

En la fase inicial de la construcción del chasis, de acuerdo a los planos y las especificaciones se procedió al doblar en la máquina hidráulica con las medidas, ángulos y radios respectivos para formar la base del chasis.



Figura 8-4: Doble de tubos

Fuente: Autores

Una vez doblados se unió mediante el proceso de soldadura.



Figura 9-4: Base del chasis

Fuente: Autores

- **Cabina**

Después que se construyó la base del buggy, se montó la cabina del piloto, por lo cual se elaboró las barras antivuelco y las protecciones laterales que sirve de seguridad para el piloto y acompañante en caso de colisión o volcamiento.



Figura 10-4: Construcción de la cabina y antivuelco

Fuente: Autores

- **Resto de estructuras**

Después que se construyó los elementos principales en este caso la base y las barras anti vuelcos se procedió al resto de elementos que conforma el chasis. Además en la base se pusieron planchas de tol con el fin de colocar los asientos del piloto y su acompañante, además de esto sirve de protección con el piso. La unión del resto de los elementos se realizó mediante el proceso de soldadura, como se muestra en la siguiente figura.



Figura 11-4: Construcción parte posterior

Fuente: Autores

Además, en cada unión se realizó el biselado para que la suelda actúe de mejor manera sobre el material.



Figura 12-4: Armada la estructura

Fuente: Autores

Posterior a esto, se realizó un molde con las medidas exactas de la base del chasis para que la plancha de tol sea cortado de una manera efectiva. La estructura se ubicó de forma reversa para unir la plancha mediante la aplicación de la suelda.



Figura 13-4: Unión de la plancha de tol con la base del chasis

Fuente: Autores

después de la unión de la base con el tol, se logró el chasis de la siguiente manera:



Figura 14-4: La estructura con la plancha de tol

Fuente: Autores

4.5. Soldadura del chasis

Fue primordial seleccionar el tipo y el proceso de la soldadura que se utilizó para unir los diferentes elementos.



Figura 15-4: La máquina soldadora

Fuente: Autores

La soldadura que se utilizó para la construcción del chasis fue la SMAW por sus siglas en inglés, o conocida como soldadura por arco con electrodo recubierto. Se trata de una técnica en la cual el calor de soldadura es generado por un arco eléctrico entre la pieza de trabajo y un electrodo metálico consumible recubierto con materiales químicos en una composición adecuada.

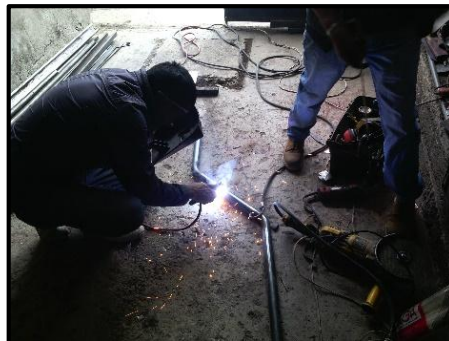


Figura 16-4: Unión de tubos mediante la suelda

Fuente: Autores

También se aplicó la soldadura por puntos, lo cual consistió en fijar el tubo provisionalmente mediante el punteo, para poder medir la posición y observar si es la correcta. Una vez que la posición sea la correcta se aplica el cordón definitivo.

4.5.1. *Material de soldar electrodo*

La AWS y la ASME (Sociedad Americana de Soldadura y Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos), respectivamente reconocidas dentro del mundo de la soldadura se apegan a las normas establecidas por los mismos para el uso de las diferentes sueldas según su nomenclatura y el tipo del material a soldar.

- **Electrodo 6011.** En este caso la suelda que se usó para la construcción del chasis es el electrodo AWS E6011. Este brinda una alta ductilidad, una eficiencia de alta deposición y poca salpicadura. Son utilizados comúnmente como un electrodo para todo propósito taller de chapistería de automóviles.
- **Electrodo 6013.-** Es revestido de alto contenido de dióxido de titanio produce depósitos de soldadura mucho más uniformes, brinda una buena humedad y una penetración superficial. Se utiliza comúnmente para carrocerías automotrices, marcos y carrocería de camiones. (Manual de electrodos para soldar, 2009)

4.6. **Tratamiento superficial de la estructura**

Después que se logró el chasis final, se pintó la estructura tanto por estética como por la protección a la corrosión. La superficie de toda la estructura se lijó, para aplicar el fondo automotriz. El proceso de pintado se realiza en poliuretano la cual necesita diluyente y catalizador, obteniendo un acabado brillante y para una amplia duración.



Figura 17-4: La base sometido a fondo de pintura

Fuente: Autores

El chasis se sometió a un pintado con fondo automotriz que protegerá de diferentes agentes contaminantes en especial la corrosión.



Figura 18-4: El chasis en la fase de pintura

Fuente: Autores



Figura 19-4: La fase final de pintura

Fuente: Autores

CAPÍTULO V

5. PRESUPUESTO

Para construir e implementar la propuesta tecnológica son considerados varios presupuestos tomando en cuenta los costos, calidad, eficiencia, que cumpla con los propósitos del alcance tecnológico.

Los costos directos corresponden a los elementos que influyen de manera directa en la construcción del chasis y los costos indirectos a los asignados a materiales y recursos secundarios.

5.1. Costos Directos.

Los costos de fabricación abarcan todos los materiales medibles y cuantificables que se han empleado; esto ayuda a determinar el costo de la materia prima y la mano de obra utilizada.

Tabla 1-5: Costos directos

COSTOS DIRECTOS			
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	COSTO UNITARIO [USD]	COSTO TOTAL [USD]
18	Tubos 1 ½ por 2mm	10.80	194.40
2	Tubos 1 ¼ por 2mm	9.80	19.60
1	Paquete de electrodos 60-11	18.00	18.00
2	Libras de electrodos 60-13	3.50	7.00
4	Discos de corte	2.50	10.00
2	Discos de pulir	3.50	7.00
8	Lijas de agua 180	0.65	5.20
5	Lijas de agua 100	0.70	3.50
6	Lijas de hierro 80	0.75	4.50
2	Litros de masilla automotriz	7.00	14.00
2	Secantes de masilla automotriz	1,50	3.00
2	Litros de fondo automotriz color gris	8.00	16.00
2	Galones de disolvente.	10.00	20.00
1	Galón de gasolina	2.25	2.25
2	Fundas de guaípe	1.00	2.00
1	Pintura automotriz naranja	7.50	7.50
1	Lito de brillo	18.00	18.00
1	Litro de catalizador	16.00	16,00
2	Pares de guantes de cuero	3.00	6.00
1	Vidrio para soldar	4.00	4.00
4	Mascarillas	0.75	3.00
2	Gafas protectoras.	1,50	3.00
3	Adquisición de software	100.00	300.00
1	Plancha de tol	48.00	48.00
2	Pruebas de materiales	60.00	120.00
Total			844.95

Fuente: Autores

5.2. Costos indirectos

Conforman los gastos indirectos durante la elaboración del presente trabajo de titulación, los cuales no son medibles ni cuantificables directamente por lo cual se realiza una estimación de valores.

Tabla 2-5: Costos indirectos

COSTOS INDIRECTOS			
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	COSTO UNITARIO [USD]	COSTO TOTAL [USD]
1	Impresiones	120.00	120.00
1	Empastado	20.00	20.00
1	Depreciación de equipos.	600.00	600.00
1	Otros	400.00	400.00
TOTAL			1140.00

Fuente: Autores

5.3. Costo total

El costo total del diseño y construcción del chasis tubular es igual a la sumatoria de los costos directos e indirectos.

Tabla 3-5: Costo total

COSTO FINAL	
Costos Directos	844.95
Costos Indirectos	1140.00
Total	1984.95

Fuente: Autores

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

Se modeló y diseñó el chasis del vehículo híbrido tipo buggy 4x4 mediante la aplicación de software CAD (Solidworks), determinando todos los parámetros de construcción tales como: peso, dimensiones, espacio, ergonomía, seguridad y rigidez.

En el software Ansys se realizó la simulación del comportamiento estático para conocer si algún elemento está sometido a esfuerzos que superen los límites admisibles y también evaluar las diferentes deformaciones.

Tomando en cuenta la función del chasis se realiza el análisis dinámico de impacto a 60 y 80km/h y el análisis de vibraciones por el constante movimiento de los motores, tomando en cuenta el material de construcción, tipo y procesos de soldadura; así como la carga viva, carga muerta y antivuelco.

En el análisis estático del chasis se determinó que el factor de seguridad de la estructura es de 2.62 por lo cual se garantiza la construcción.

En el análisis dinámico se determinó que el esfuerzo máximo que puede sufrir el chasis es de 2352.2 MPa, este valor sobrepasa el límite de fluencia del material que es de 315 MPa, por lo cual se concluye que en un impacto el material pasa de una zona elástica a una zona plástica debido a su forma y propiedad.

Se construyó el chasis utilizando la tecnología del medio local y basándose en las normas de estandarización tales como: ASTM E8 para pruebas de los materiales, INEN 1323 Homologación de Estructuras Carroceras, INEN 2415 para selección de materiales y RFDA (Normativas de Homologación de Estructuras de Seguridad para Buggies); además se seleccionó el Acero ASTM A500.

El proceso de manufactura que se utilizó fue el método de estratificación manual debido a que es una técnica simple, antigua, menos costosa de fácil obtención de materiales y se realizó ensayos destructivos de materiales en el Centro de Fomento Productivo.

6.2. Recomendaciones

Antes de ejecutar el trabajo de titulación se recomienda analizar el diseño mediante las normas que rigen este tipo de estructuras para así cumplir con todos los parámetros y objetivos anteriormente planteados.

En el proceso de construcción del chasis se debe utilizar equipos de protección como guantes, casco, lentes de seguridad, mascara para soldar, mascarillas, etc. Ya que se trabaja con materiales nocivos para la salud principalmente los aditivos, resinas, diluyentes, estos pueden causar reacciones en la piel, dolores de cabeza, problemas respiratorios etc.

Se recomienda no exceder las cargas para la que fue diseñado, debido a que el chasis es solo un prototipo planteado para acoplar diferentes sistemas, además el alterar esfuerzos puede ocasionar daños a los componentes estructurales, y disminuir la vida útil del chasis.

Finalmente se recomienda dar continuidad a este prototipo por medio del desarrollo de trabajos de titulación como la adaptación de motores eléctricos, diseño de suspensión, asientos, adaptación de accesorios, etc., siempre tomando en cuenta los parámetros de diseño y construcción del chasis.

Bibliografía

ARIAZ - PAZ, M. *Manual de Automoviles*. Madrid: Cie Dossat 2000, 2004. pp 120 – 126

BENDIX, Friedrich. *Alrededor del trabajo de los metales*. Mexico: Reverté, S.A, 2012 pp. 30 - 36

BERMEO & CARRIÓN. *Diseño y construcción de un chasis tubular de un vehículo monoplace para la competencia en la fórmula SAE*. Cuenca: s.n., 2014 pp 16 – 27

CASCAJOSA, Manuel. *Ingeniería de vehiculo - Sistemas y Calculos*. Madrid: Tebar, 2005 pp 5 – 8

CANO, Lucero. *Esfuerzos de trabajo, factor de seguridad y esfuerzo de diseño permisible*, 2017, p 2.

CHAZARO, Rosario. *Elección del tipo de acero para estructuras*. 2014, p 18.

CINAE. *Cámara de la Industria Automotriz Ecuatoriana*. [En línea] Quito - Ecuador, 2013. [Consulta: 06 de Septiembre de 2017.] Disponible en: <http://www.cinae.org.ec/>.

CRUZ, Marcos & HERNANDEZ, Gregorio. *Construcciones de estructuras de acero*. Chiapas - Mexico: Option II, 2008. pp 39 - 45

CUNALATA, Wilfrido. *Diseño y construcción del bastidor y carrocería, de un vehículo eléctrico biplace plegable, usando software CAD-CAE y manufactura Ecuatoriana*. Latacunga: s.n., 2014. pp 50 - 52

CURVA MAN. *Máquinas curvadoras y maquinaria auxiliar*. [En línea] Murcia - España, 2013. [Consulta: 03 de Octubre de 2017.] Disponible en: <http://www.curva-man.com/index.htm>.

DOYLE. *Manufacturing processes and materials for engineers*. Estado Unidos : Prentice Hall., 2009. pp 26 – 33

EAGLESTEEL. *ASTM A500* [En línea] USA, 5 de Mayo de 2016. [Consulta: 04 de Octubre de 2017.] Disponible en: https://eaglesteel.com/wp-content/uploads/2016/04/ASTM_A500_Grade_B.pdf.

FERNÁNDEZ, Francis. *Citroe E-Mehari*. España: Marca, 2016 pp 1-3.

HAMROCK, Bernard J. *Diseño y Elementos de Maquinas*. [aut. libro] Hamrock Bernard. *Diseño*. Mexico - Madrid : McGraw-Hill, cop. 2000, 2000, págs. 3-4.

HAYNES INTERNATIONAL. [En línea] 2015. [Consulta: 03 de Octubre de 2017.] Disponible en: [http://www.haynesintl.com/es/aleaciones/soldadura-y-fabricaci%C3%B3n/soldadura-y-uni%C3%B3n/shielded-metal-arc-welding-\(smaw-stick-\)](http://www.haynesintl.com/es/aleaciones/soldadura-y-fabricaci%C3%B3n/soldadura-y-uni%C3%B3n/shielded-metal-arc-welding-(smaw-stick-)).

INTERCOM, SoloStocks. [En línea] 5 de Abril de 2012. [Consulta: 02 de Septiembre de 2017.] Disponible en: <http://www.solostocks.com/venta-productos/quads/otros-quads/bu>
ggy-150cc-monoplaza-4tiempos-2194933.

KM77. *Relación peso / potencia*. [En línea] 12 de Agosto de 2011. [Consulta: 02 de Octubre de 2017.] Disponible en: <https://www.km77.com/glosario/r/relapesopote.asp>.

LAF. *Tubo laminado al frio*. [En línea] [Consulta: 20 de Septiembre de 2017.] Disponible en: <https://www.yohersa.com/tubo-laf>.

LG CREAR. *Hierros anfer*. [En línea] 2013. [Consulta: 03 de Octubre de 2017.] Disponible en: http://hierrosanfer.com.ar/tubos_estructurales.html.

LISVANCELIS. *Tecnología, las estructuras* [En línea] 30 de Junio de 2011. [Consulta: 21 de Agosto de 2017.] Disponible en: <https://es.slideshare.net/lisvancelis/guia-didactica-sobre-estructuras>.

LUIKE HERNANDEZ, Enrique. *Buggies&UTV&Quad Jet*. 2013/2014, Sensaciones al Limite, p 9.

PEREZ, Alonso & Jose Manuel. *Tecnica del automovil / chasis*. Madrid: Lara Carmona, 2010 pp. 15 - 25

PRO-ECUADOR. *Análisis Sectorial Automotriz*. Quito:s.n., 2017, pp. 4-5

SALINAS, Raul. *El primer buggy de la historia*. 2015, pp 16 - 22

SIMULACIÓN EN 3D. *Ansys*. [En línea] Mexico, 2017. [Consulta: 20 de Octubre de 2017.] Disponible en: <http://www.3dcadportal.com/ansys.html>.